

Hélder Fernando Dias Saraiva

2º Ciclo de Estudos em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território

Avaliação de áreas potenciais para a instalação de aterros sanitários no Município de
Viana – Angola: análise multicritério e SIG's

2014

Orientador: Professor Doutor José Augusto Alves Teixeira

Coorientador: Professor Doutor António Alberto Teixeira Gomes

Classificação: Ciclo de estudos:

Dissertação/relatório/Projeto/IPP:

Agradecimentos

Neste ponto, pretendo deixar os meus agradecimentos a todas pessoas e instituições que, de uma forma ou outra, deram contribuições valiosas para a execução desta dissertação.

Aos professores Doutores José Augusto Teixeira e António Alberto Gomes, pela disponibilidade, compreensão, ensinamento e por todas as sugestões relevantes durante a orientação científica desta investigação, o meu reconhecimento.

Aos professores das diferentes Unidades Curriculares do mestrado em SIG e Ordenamento do Território pelos ensinamentos e disponibilidade.

Os meus agradecimentos também para a equipa do Gabinete de Relações Internacionais da Reitoria e da Faculdade de Letras da Universidade do Porto, especialmente para as Dr^{as} Barbara Costa, Ana Paiva e Carla Augusto.

Aos responsáveis do programa *Eramus Mundus ACP*, pela oportunidade que me concederam, e que me permitiu frequentar o mestrado em SIG e OT na FLUP.

Aos meus Pais, José Dias Saraiva e Domingas Fernando, pela educação e valores que me orientam.

À minha esposa, Ana Rodrigues Saraiva, e meus filhos, Hélder Josiane Rodrigues Saraiva e Hélio Rodrigues Saraiva, pelo facto de estarem sozinhos durante esses dois anos.

À Faculdade de Ciências da Universidade Agostinho Neto, pelo apoio prestado durante a minha estadia em Portugal, na cidade do Porto¹.

¹ A presente dissertação encontra-se redigida pelo novo acordo ortográfico português

Resumo

Um dos problemas decorrentes da crescente urbanização, especialmente nos países em desenvolvimento, é a crescente geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), aliada a sistemas de recolha e deposição final inexistentes ou ineficazes.

Por outro lado, a escolha de lugares para a localização de infraestruturas pesadas, tais como um aterro sanitário para a deposição destes resíduos, implica a análise complexa de um conjunto variado de fatores, que caracterizam o território de uma determinada área.

Esta escolha e planificação exige uma compatibilização das variáveis ambientais, sociais e económicas, e requer uma análise criteriosa dos parâmetros com o intuito de mitigar os impactos ambientais e socioeconómicos. Para a escolha da localização ideal há a necessidade de integração de um grande volume de informações espaciais de diversas naturezas, fazendo assim dos Sistemas de Informação Geográfica uma ferramenta extremamente útil para ser utilizada na resolução de problemas deste género.

Para este trabalho foi utilizado o método de análise multicritério em ambiente SIG para a determinação da localização ideal de um aterro sanitário na sede do município de Viana, em Luanda. A metodologia apresentada baseou-se num SIG essencialmente em formato *raster*, com a integração da análise multicritério, através do método *Analytical Hierarchy Process* (AHP).

O município de Viana apresenta um crescimento populacional muito elevado, nos últimos 10 anos. Este crescimento populacional leva a que os atuais sistemas de recolha, bem como os locais de deposição sejam insuficientes face à procura atual, pelo que se justifica plenamente um estudo deste género.

O uso da análise multicritério permitiu avaliação da aptidão das áreas de estudo, enquanto o AHP permitiu a hierarquização do problema e a definição do grau de importância relativa dos critérios identificados.

Para identificar as áreas com aptidão para o aterro sanitário, foram utilizadas três critérios (ambiental, socioeconómico e operacional) e nove subcritérios. As áreas identificadas foram divididas e representadas com a nomenclatura de Nula, Baixa, Média e Elevada aptidão. As áreas identificadas resultam da sobreposição dos parâmetros com base nos pesos. Nas áreas de aptidão elevada efetuou-se a seleção dos locais com área igual ou superior a 538,5 hectares, hierarquizando-se as diferentes alternativas encontradas através de uma análise de Custos, Benefícios e Riscos.

Palavras-chave: aterro sanitário, Sistemas de Informação Geográfica, análise multicritério, *Analytical Hierarchy Process*.

Abstract

One of the problems arising from increased urbanization, especially in developing countries, is the increased generation of municipal solid waste(MSW), combined with the non-existent or ineffective gathering and final disposal systems.

Moreover, the choice of places for the location of heavy infrastructures, such as a landfill for the disposal of these residues, involve complex analysis of a wide range of factors that characterize a particular area of the territory.

This choice requires planning and compliance with environmental, social and economic variables, and requires a detailed analysis of parameters in order to mitigate the environmental and socioeconomic impacts. When choosing the ideal location there is the need to integrate a large amount of spatial information of different types, making the Geographical Information System an extremely useful tool to be used in solving problems of this type.

For this work, the multicriteria analysis method in a GIS environment was used, to determine the ideal location for a landfill in the town of Viana, Luanda. The methodology presented was based primarily on a GIS raster format, with the integration of multicriteria analysis, using the method Analytical Hierarchy Process (AHP).

The municipality of Viana has a very high population growth in the last 10 years. This population growth means that the current collection systems, as well as the sites of disposal are insufficient regarding the current demand, which fully justifies a study of this kind.

The use of multicriteria analysis allowed assessment of the suitability of the study areas, while the AHP hierarchy allowed the definition of the problem and the degree of relative importance of the identified criteria.

To identify areas with suitability for landfill, three criteria (environmental, socio-economic and operational) and nine sub-criteria were used. The identified areas were divided and represented with the nomenclature of Zero, Low, Medium and High Fitness. The identified areas result from the overlap of the parameters based on the weights. In areas of high fitness if we performed the selection of sites with an area equal to or greater than 538.5 hectares, ranking the different alternatives is found through an analysis of costs, benefits and risks.

Keyword: landfill, Geographical Information Systems, multi-criteria analysis and Analytical Hierarchy Process.

Abreviaturas

AHP – *Analytic Hierarchy Process*

AS – Aterro Sanitário

CE – Concelho Europeu

CI – *Consistency Index*

CR – *Consistency Ratio*

ha – Hectare

IGCA – Instituto Geográfico e Cadastral de Angola

INE – Instituto Nacional de Estatística

MDT – Modelo Digital do Terreno

REGA – Relatório do Estado Geral de Angola

RI – *Random Index*

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SIG – Sistema de Informação Geográfica

TIN – *Triangulated Irregular Network*

UNESCO – *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*

ZEE – Zona Económica Especial

Índice geral

1. Introdução	8
1.2 - Objetivos	12
1.2.1 - Objetivo geral	12
1.2.2 - Objetivos específicos	12
1.3 - Estrutura do trabalho	13
1.4 – Materiais e métodos	13
2. Fundamentação teórica	20
2.1 - Estado da arte	20
2.2 - Análise Multicritério	27
2.2.1 - Introdução	27
2.2.2 - AHP - Analytic Hierarchy Process	28
2.3 – Aterros Sanitários	38
2.3.1 - Introdução	38
2.3.2 - Definições	39
2.3.3 - Aspetos técnicos relacionados aos aterros sanitários	40
2.3.4 - Escolha de áreas para aterro sanitário	41
2.3.5 - Processo	42
2.4 - Sistemas de Informação Geográfica	43
2.4.1- Introdução	43
2.4.2 – Evolução histórica dos SIG – breve síntese	44
2.4.3 - Definições e controvérsias	45
2.4.4 - Os SIG como disciplina e seu potencial	46
2.5 - Gestão dos resíduos sólidos em Angola	47
2.5.1 - Enquadramento legal	47
2.5.2 - Caracterização da situação dos resíduos sólidos em Angola	49
3. Caso de estudo - Sede do Município de Viana	52
3.1 - Enquadramento geográfico	52
3.2 – Enquadramento geológico	54
3.3- Caracterização demográfica da população residente	58
3.4 - Identificação das áreas com aptidão para localizar o aterro sanitário a partir da combinação de Análise multicritério e Analytic Hierarchy Process em ambiente SIG.	62
3.4.1- Cartografia e dados utilizados	62
3.4.2- Determinação dos pesos	64
3.4.3 - Análise multicritério da área de estudo	66
4. Discussão e conclusão	87
4.1 - Considerações Finais	88
4.2 – Perspectivas futuras	88
5. Referências bibliográficas	90

Índice de figuras

<i>Figura 1 – Aspeto de uma lixeira a céu aberto, em Luanda, em Janeiro de 2014</i>	11
<i>Figura 2 – Representação esquemática da sequência dos processos realizados</i>	15
<i>Figura 3: Estrutura do modelo de dados utilizado, adaptado e atualizado de Cabral (2012) e Sumathi et al. (2008)</i>	16
<i>Figura 4: Operações utilizadas para a modelação do critério hidrogeologia</i>	17
<i>Figura 5: Representação esquemática do modelo cartográfico de cálculo, em ambiente SIG</i>	19
<i>Figura 6: Exemplo de uma estrutura hierárquica em três níveis (adaptado de Schmidt, 1995)</i>	31
<i>Figura 7: Matriz de decisão do método AHP</i>	34
<i>Figura 8 – Instalação típica de um aterro sanitário, segundo Rushbrook & Pugh (1999)</i>	39
<i>Figura 9 – Tipos de aterro sanitário, segundo Rushbrook & Pugh (1999): a) método de trincheira; b) método de área; c) método de células; d) método de encosta ou vale</i>	41
<i>Figura 10: Enquadramento da província de Luanda no contexto angolano e africano</i>	50
<i>Figura 11: Localização da sede do Município de Viana</i>	52
<i>Figura 12: Histograma de precipitações anuais registradas na estação Termo pluviométrica “Cidade Alta” Luanda, no período 1961-2000</i>	53
<i>Figura 13: Balanço hidrológico sequencial mensal relativo à estação climatológica de Luanda</i>	54
<i>Figura 14: Carta geológica da comuna sede do município de Viana, adaptada de A. G. De Araújo et al. (1988)</i>	55
<i>Figura 15: Mapa de declives da comuna sede do município de Viana</i>	56
<i>Figura 16 – Mapa hipsométrico da comuna sede do município de Viana</i>	57
<i>Figura 17: Classes de permeabilidade das formações geológicas da sede do município de Viana (Adaptado de Miguel et al., 2002)</i>	58
<i>Figura 18 – Aspectos diversos da Comuna de Viana: a) ZEE durante a construção; b) ZEE na actualidade; c) bairro de Quilamba; d) aspetos da construção vertical e horizontal do projeto Zango 1.60</i>	
<i>Figura 19 – Aspetos da área onde atualmente está implantada a ZEE de Viana, entre 2002 e 2012 (fonte: Google Earth)</i>	61
<i>Figura 20 - Aspetos da área habitacional de Viana Norte (fonte: Google Earth)</i>	62
<i>Figura 21 - Aspetos da área habitacional de Viana Sul (fonte: Google Earth)</i>	63
<i>Figura 22: Sub-critérios usados no critério Hidrogeologia</i>	69
<i>Figura 23: Uso do solo e respetivas classificações, na área da comuna sede do município de Viana</i>	71
<i>Figura 24: Rede viária e respetivas classificações na área da comuna sede do município de Viana</i>	72
<i>Figura 25: Mapa de declives da área da comuna sede do município de Viana</i>	73
<i>Figura 26: Áreas favoráveis para a localização do aterro sanitário na área da comuna sede do município de Viana</i>	74
<i>Figura 27: Restrições consideradas, na área da comuna sede do município de Viana</i>	75
<i>Figura 28: Cartografia final de áreas favoráveis para a localização de um aterro sanitário</i>	76
<i>Figura 29: Classificação das áreas com aptidão para localização do aterro sanitário</i>	78
<i>Figura 30: Hierarquia para a análise de Benefícios, Custos e Riscos (BCR)</i>	79
<i>Figura 31: Hierarquia do critério benefícios para o problema do Aterro Sanitário</i>	82
<i>Figura 32: Hierarquia do critério custos para o problema do Aterro Sanitário</i>	82
<i>Figura 33: Hierarquia do critério riscos para o problema do Aterro Sanitário</i>	83
<i>Figura 34: Ranking das alternativas</i>	86

Índice de tabelas

<i>Tabela 1: Escala de Comparação par-em-par.</i>	33
<i>Tabela 2: Visualização prática do julgamento par-em-par.</i>	33
<i>Tabela 3: valor de RI para Matrizes quadrada de ordem até 15.</i>	35
<i>Tabela 4: Termos do balanço hídrico para a estação climatológica de Luanda.</i>	54
<i>Tabela 5: Evolução da população da Sede do Município de Viana (2000 – 2012).</i>	60
<i>Tabela 6: A variação da população em percentagem</i>	60
<i>Tabela 7: Caracterização técnica das informações utilizadas no estudo.</i>	64
<i>Tabela 8: Matriz de comparação par-a-par dos critérios do 2º Nível.</i>	65
<i>Tabela 9: Matriz de comparação par-a-par dos subcritérios de Hidrogeologia.</i>	65
<i>Tabela 10: Matriz de comparação par-a-par dos subcritérios de Uso do solo.</i>	65
<i>Tabela 11: Matriz de comparação par-a-par das unidades geológicas.</i>	66
<i>Tabela 12: Critérios utilizados no estudo.</i>	67
<i>Tabela 13: Valor da classificação dos atributos do subcritério falhas geológicas.</i>	67
<i>Tabela 14: Valor da classificação dos atributos das linhas de água.</i>	68
<i>Tabela 15: Valor da classificação dos atributos do subcritério corpos de água.</i>	68
<i>Tabela 16: Valor da classificação dos atributos dos subcritérios do uso do solo (áreas agrícolas)</i>	70
<i>Tabela 17: Valor da classificação dos atributos do subcritério uso do solo (tecido urbano, zona industrial e comercial).</i>	71
<i>Tabela 18: Valor da classificação dos atributos do critério rede viária.</i>	72
<i>Tabela 19: Classificação do critério declive.</i>	73
<i>Tabela 20: análise de aptidão de áreas de estudo.</i>	76
<i>Tabela 21: Áreas dos locais ótimos para implantação do aterro sanitário</i>	79
<i>Tabela 22: Matriz de comparação para BCR.</i>	80
<i>Tabela 23: Matriz normalizada para BCR.</i>	80
<i>Tabela 24: Matriz de comparação do Critério Benefícios.</i>	80
<i>Tabela 25: Matriz normalizada e o vetor de prioridade para o critério Benefícios.</i>	81
<i>Tabela 26: Matriz de comparação do critério Custos.</i>	81
<i>Tabela 27: Matriz normalizada e de prioridade do critério Custos.</i>	81
<i>Tabela 28: Matriz de comparação do critério riscos.</i>	81
<i>Tabela 29: Matriz normalizada do critério de riscos.</i>	81
<i>Tabela 30: Prioridades (pesos) das alternativas nos subcritérios B1,B2 e B3.</i>	83
<i>Tabela 31: Prioridades (pesos) das alternativas nos subcritérios C1,C2 e C3.</i>	83
<i>Tabela 32: Prioridades (pesos) das alternativas nos subcritérios R1,R2 e R3.</i>	84
<i>Tabela 33: Peso final dos benefícios das alternativas</i>	84
<i>Tabela 34: Peso final dos custos das alternativas.</i>	85
<i>Tabela 35: Peso final dos riscos das alternativas</i>	85
<i>Tabela 36: Peso final das alternativas em função do benefício, custo e risco (BCR).</i>	86

1. Introdução

Segundo Levy & Cabaças (2006) e Cabral (2012), entende-se por Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) “um conjunto de materiais com consistência predominantemente sólida, de que o seu possuidor pretenda ou tenha necessidade de eliminar ou reciclar”. Estes podem ser compostos por restos de matérias-primas após utilização, embalagens de produtos alimentares ou de outros produtos, papel, pilhas, plásticos, roupa, latas, tinteiros, óleos, cartão, restos de comida, entre outros. Alguns destes materiais podem ser valorizados (por reciclagem, reutilização ou compostagem no caso dos resíduos orgânicos) ou depositados em aterros (Rushbrook & Pugh, 1999).

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) produzidos pelas atividades diárias dos cidadãos, associados aos seus hábitos de consumo e pela geração de produtos industriais, torna-se cada vez mais um dos principais problemas nos centros urbanos, principalmente os de maior dimensão. O problema tende a agravar-se com registo do aumento da população em áreas urbanas, o que consequentemente provoca o aumento da quantidade de resíduos *per capita* gerados diariamente a uma taxa significativa, e diminui as alternativas de áreas para deposição dos resíduos devido à expansão urbana (Cabral, 2012; Rushbrook & Pugh, 1999; Weber & Hasenack, 2000). Este é a situação em que se encontra a área de estudo deste trabalho, a comuna sede do Município de Viana.

Ao longo do século XX, o destino dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) transformou-se num grande problema, principalmente nos grandes centros urbanos. Este problema surge devido ao aparecimento de novos produtos industriais de natureza inorgânica de lenta decomposição e ao crescimento gradual da densidade populacional nos centros urbanos. A maior capacidade de escolha de uma sociedade cada vez mais consumista leva naturalmente à geração de resíduos de difícil eliminação (Cabral, 2012). Aliada a esta situação anda geralmente associada uma ineficaz rede de recolha dos resíduos (indiferenciada e/ou seletiva), bem como áreas de deposição cada vez mais escassas (Rushbrook & Pugh, 1999).

Os debates acerca das questões ambientais com o foco principal nos centros urbanos, levam-nos a refletir e reavaliar as atividades humanas relativamente ao seu estilo de vida e ao alto consumo, o que condiciona uma dependência cada vez maior dos recursos, gerando maior produção de resíduos, caindo-se assim num ciclo vicioso: quanto maior é a cidade, maiores serão os problemas ambientais.

O estudo dos impactos ambientais, atualmente, constitui uma tarefa com grande importância. Acentua-se cada vez mais a obrigatoriedade em todos os projetos de grande porte, sejam de construção civil como grandes estabelecimentos ou obras de arte como pontes, incluírem no seu licenciamento uma avaliação de impacto ambiental decorrente desse mesmo projeto. A identificação e avaliação de impactos ambientais requer uma recolha e manipulação de uma grande quantidade de dados, além de ser necessário a comunicação dos resultados aos tomadores de decisões, que muitas vezes

não são especialistas em questões ambientais (Cabral, 2012; Javaheri et al., 2006; Rushbrook & Pugh, 1999; Vega y de la Fuente, 2003).

Uma vez que o aterro sanitário se constitui como uma das soluções mais económicas e com menos requisitos técnicos (quando comparados com outros sistemas de valorização ou eliminação dos RSU), é importante ponderar todos os aspetos relacionados com o planeamento da localização destas infraestruturas, tendo em conta as diferentes variáveis sociais, ambientais e económicas de uma determinada área (Cabral, 2012), tendo em vista a minimização dos impactes destas infraestruturas no quotidiano das populações.

Os Sistemas de Informação Geográfica podem, neste sentido, ser uma ferramenta imprescindível, permitindo, através das suas componentes gráfica e alfanumérica, a análise de grandes quantidades de informação espacial (Longley et al., 2005; Shekhar & Xiong, 2008), contribuindo de uma forma decisiva para tomadas de decisão mais conscientes por parte das autoridades competentes (Cabral, 2012).

Assim, pretende-se neste trabalho materializar alguns aspetos relacionados com desenvolvimento da metodologia de apoio à decisão na perspetiva de auxiliar os profissionais envolvidos em assuntos relacionados com escolha de áreas para implantação de um aterro sanitário, como forma de disposição final dos resíduos sólidos urbanos, nomeadamente na área de estudo, no município de Viana.

Portanto, constitui a principal tarefa neste trabalho fazer o uso de um dos métodos multicritério de apoio a decisão, o *Analytic Hierarchy Process* (Saaty, 1977, 1980, 1996, 2000, 2008), tendo como domínio de aplicação dos problemas de impactos ambientais, especificamente na localização de uma área para implantação de um aterro sanitário. Além da análise multicritério são utilizadas também as ferramentas disponíveis nos Sistemas de Informação Geográfica.

Segundo o Relatório do Estado Geral do Ambiente de Angola (REGA, 2012), os problemas ambientais mais relevantes ou significativos que o país enfrenta são: a fraca capacidade de ordenamento do território, a poluição devido à deposição de resíduos sólidos (quantidade enorme de embalagens não biodegradáveis e outros lixos domésticos) em locais inadequados, a falta de locais apropriados para o tratamento dos resíduos sólidos, a falta de infraestruturas para reciclar o óleo usado de veículos e a falta de indústria de reciclagens de diversos produtos no país. A maior preocupação está principalmente na vertente das repercussões que estes problemas podem ter sobre a saúde humana e o meio ambiente (solo, água, ar e paisagem natural), porque quando os resíduos são incorretamente geridos tornam-se uma grave ameaça não só para geração presente, como também, principalmente, para a geração futura.

Assim, foi desenvolvido um modelo, que integra a componente SIG e a componente da análise multicritério (AHP – *Analytic Hierarchy Process*), utilizando o *software* ArcGIS®10.1 da ESRI. Pretende-se contribuir assim para o processo de tomada de

decisão pelas autoridades competentes, acerca da localização de um aterro sanitário, no Município de Viana – Luanda, Angola.

Assim, colocam-se como problemas de investigação a identificação de:

- Quais as áreas com maior aptidão para a implantação de um Aterro Sanitário na comuna Sede² do Município de Viana tendo em conta as normas vigentes.
- Qual o potencial favorável do ponto de vista ambiental, geotécnico, operacional e socioeconómico, de acordo com as características da área em questão.

A Província de Luanda enfrenta grandes problemas ambientais, devido à inexistência e/ou ineficácia da rede de saneamento básico e de outras infraestruturas. Trata-se da capital e a principal urbe de Angola e nela reside uma população estimada em 6 milhões de habitantes (INE, 2012), e que representa aproximadamente 30% da população do país.

A deficiente gestão dos resíduos sólidos nesta Província foi e continua a ser o “*calcanhar de Aquiles*” dos órgãos municipais e dos munícipes, contribuindo para a contaminação ambiental e visual. A Província de Luanda é constituída por sete municípios³: Luanda⁴, Viana, Cazenga, Belas⁵, Cacuo, Quiçama e Icolo Bengo, sendo o município de Viana o mais populoso na atualidade, com cerca de 2 milhões de habitantes.

A província só dispõe de um único aterro sanitário localizado no município do Cacuo, com a capacidade total de 10,342 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, ocupando uma área de 297,2 hectares, estando em operação desde 2006. Este é insuficiente para a demanda da Província, face ao contingente populacional atual, assim como a localização do aterro em relação aos locais ou centros de produção dos RSU (cada vez mais distantes, tendo em conta a grande expansão urbana e desenvolvimento do setor imobiliário, da indústria e do comércio). Esta situação torna as operações menos eficientes, o que leva à deposição final dos RSU em lixeiras a céu aberto, com a subsequente queima, constituindo um foco de poluição e uma séria ameaça à saúde pública (figura 1).

² Por sede do município referimo-nos à comuna sede do município (sendo que na divisão administrativa angolana a Província é constituída pelos municípios e os municípios constituídos pelas comunas). A única exceção é o município de Luanda, que é constituído pelos distritos urbanos, de acordo com a reforma administrativa de 2011.

³ De acordo com alteração da divisão político administrativo da Província de Luanda e Bengo (Lei nº29/11 de 1 de Setembro) na província de Luanda foram criados mais dois municípios (Luanda e Belas) e foram anexados mais dois municípios (Icolo Bengo e Quiçama) antes pertencente a Província do Bengo.

⁴ O município de Luanda é constituído pelos anteriores municípios com uma nova denominação de distritos urbanos, dos quais são os distritos urbanos do Rangel, Maianga, Ingombotas, Kilamba Kiaxi, Samba e Sambizanga.

⁵ O município de Belas é constituído pelas comunas da Barra do Kuanza e Benfica, anteriormente pertencente aos municípios de Viana e Samba respetivamente, de acordo a nova divisão administrativa.



Figura 1 – Aspeto de uma lixeira a céu aberto, em Luanda, em Janeiro de 2014.
(Foto: blog <http://www.angolabelazebelo.com/>)

Perante esta situação, a construção de mais aterros sanitários constitui-se como uma necessidade urgente, não só para melhorar a gestão na operação dos resíduos, mas também para minimizar as distâncias dos centros de produção ao local de deposição.

Face ao exposto, a primeira preocupação a ter em conta deverá ser a localização, por isso, consideramos pertinente levantar a seguinte questão: Qual é a área do município de Viana com melhor aptidão para implantar um aterro sanitário?

Porquê a escolha do município de Viana? Porque é neste município que está situada a Zona Económica Especial (ZEE) criada em 2005 (Decreto - Regulamentar nº 49/11, de 31 de Maio) para albergar 73 fábricas para além das indústrias já existentes, tornando-se assim o maior Pólo industrial do País e um dos maiores centros de armazenamento de produtos comerciais e industriais. Além disso, possui uma localização central em relação aos outros municípios da província (tem a fronteira delimitada com todos os municípios que constituem a província de acordo com a reforma administrativa de 2011). O município de Viana não possui nenhum aterro sanitário, apesar de ser o município da província de Luanda que mais cresceu nos últimos 15 anos (INE, 2012).

Assim, julga-se pertinente um estudo desta natureza, visto que uma das grandes preocupações da atualidade consiste em encontrar os melhores locais num município com uma densidade populacional considerável (ambientalmente favoráveis, economicamente viáveis e socialmente aceitáveis) para o destino final dos RSU. Logo, para o efeito, torna-se necessária uma abordagem científica isenta de qualquer subjetividade. Por outro lado, o facto, do município ser o mais industrializado do País e de registar uma elevada expansão urbana, e apesar disso, não dispor ainda de um aterro sanitário para uma população estimada em 2071850 habitantes (INE, 2012), justificaria a investigação que pretendemos desenvolver. Além disso, e também a julgar pelos resultados dos diferentes censos populacionais desde 1940, verifica-se em Luanda a duplicação da população em cada 10 anos. (Nzatuzola, 2010).

Naturalmente, um estudo desta natureza, idealmente, deveria ser complementado com outros estudos, nomeadamente os que se debruçam sobre a implantação de uma eficaz rede de recolha de RSU. Esses estudos encontram-se, no entanto, fora do âmbito da presente dissertação.

1.2 - Objetivos

1.2.1 - Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar as características locais, visando a escolha de um espaço apropriado para a localização de um aterro sanitário na comuna Sede do Município de Viana, recorrendo a técnicas de análise multicritério e Sistemas de Informação Geográfica.

Desta forma, com este trabalho pretende-se aplicar os modelos e técnicas que quantificam objetivamente o potencial das áreas para fins propostos, e sua localização face às condições naturais.

Face à quantificação e avaliação, o objetivo é definir as áreas mais favoráveis para localização do aterro sanitário. Este exercício de localização deve ter em conta a minimização dos impactos ambientais, bem como o ajuste da localização para melhorar a gestão e operações de recolha, tratamento e deposição de RSU.

1.2.2 - Objetivos específicos

Em termos específicos podemos apontar os seguintes objectivos:

- a) Identificação dos critérios que podem integrar no modelo a ser desenvolvido, de acordo com a literatura internacional - *e.g.* (Afzali, 2011; Al-Jarrah & Abu-Qdais, 2006; Babalola & Busu, 2011; Blight, 1996; Chang et al., 2008; Charnpratheep et al., 1997; Frantzis, 1993; Gemitzi et al., 2007; Kara & Doratli, 2012; Mutlutuerk & Karaguezel, 2007; Ramjeawon & Beerachee, 2008; Rushbrook & Pugh, 1999; Wan Hussin et al., 2010; Westlake, 1997), adaptando-os à legislação Angolana e às características da área de estudo;
- b) Criação de uma base de dados espaciais, necessária para escolha da localização do aterro sanitário;
- c) Definição do peso de cada critério/subcritério a partir do método AHP;
- d) Análise da aptidão ambiental e legal para a localização de Aterros Sanitários, assim como da aptidão preferencial e a viabilidade;
- e) Construção um modelo para extrair áreas para a localização de um aterro sanitário na área de estudo, a partir da análise multicritério;
- f) Consciencialização da população e as entidades decisoras, através da divulgação investigação desenvolvida, da importância que tem o Aterro Sanitário dentro do aspeto

sociocultural e socioeconómico de uma cidade, como elemento fundamental no contexto das políticas públicas.

1.3 - Estrutura do trabalho

O trabalho está estruturado em cinco capítulos fundamentais, organizados numa sequência lógica de acordo com os objetivos pretendidos:

Introdução (capítulo 1); Fundamentos teóricos (capítulo 2); Gestão dos resíduos sólidos em Angola (capítulo 3); Estudo de caso na Sede do Município de Viana (capítulo 4); Discussão e Conclusões (capítulo 5).

Capítulo 1: faz-se um enquadramento genérico do tema, apresentam-se os objetivos do trabalho, e os materiais e métodos utilizados.

Capítulo 2: abordam-se os fundamentos teóricos do tema, nomeadamente quanto ao *estado da arte*, à análise multicritério, aos aterros sanitários e aos SIG.

Capítulo 3: dedica-se à caracterização da gestão dos resíduos sólidos em Angola. O capítulo inicia-se com uma referência à legislação angolana referente aos resíduos sólidos, fazendo uma breve apresentação do país e caracterizando-se a situação dos resíduos sólidos no país.

Capítulo 4: ocupa-se do caso de estudo da sede do Município. Aborda a situação geológica da região, assim como os resultados da caracterização demográfica. São ainda, apresentados os resultados das ponderações de critérios e da análise multicritério da área de estudo, de modo a identificar as áreas com melhores aptidão para localizar o aterro sanitário.

Capítulo 5: Discutem-se os resultados, apresentam-se as conclusões, bem como se apontam algumas perspectivas futuras de trabalho.

1.4 – Materiais e métodos

Na realização deste trabalho adotaram-se procedimentos, de acordo com os objetivos propostos, que permitissem responder à pergunta de partida de uma forma clara e objetiva. Optou-se pelo desenvolvimento de um projeto SIG, processando a informação em formato matricial, no qual as exclusões são processadas através de operações booleanas enquanto os fatores são processados por operações matemáticas ou lógicas (figura 2).

No desenvolvimento da metodologia foi usada análise multicritério para avaliar a aptidão do território em estudo, e para identificar a área ótima e disponível à localização do aterro sanitário, dentro dos requisitos legais, minimizando os impactos socioeconómicos e ambientais.

No desenvolvimento deste processo de investigação foram operacionalizadas várias técnicas e metodologias para as diferentes etapas da investigação que se enumeram de seguida:

- 1- Pesquisa e reflexão bibliográfica seguida da aquisição de dados geográficos e outros relevantes na Sede do Município de Viana situada na província de Luanda;
- 2- Identificação das variáveis de entrada no modelo de acordo com a principal literatura internacional sobre o tema (Afzali, 2011; Al-Jarrah & Abu-Qdais, 2006; Babalola & Busu, 2011; Blight, 1996; Chang et al., 2008; Charnpratheep et al., 1997; Frantzis, 1993; Gemitzi et al., 2007; Kara & Doratli, 2012; Mutlutuerk & Karaguezel, 2007; Ramjeawon & Beerachee, 2008; Rushbrook & Pugh, 1999; Wan Hussin et al., 2010; Westlake, 1997);
- 3- Extração de informação espacial referente a áreas de estudo;
- 4- Criação de uma base de dados associado a uma representação espacial, com o sistema de referência comum (UTM – zona 33S e projeção *Transverse Mercator*, *datum* Camacupa, elipsoide de Clarke 1880);
- 5- Tratamento das informações recolhidas, tendo sido efetuada uma análise para extrair a informação da área de estudo, tal como se apresenta na figura 3.
- 6- Sequencialmente foram realizadas outras etapas, como atribuição dos valores com os critérios de avaliação ou subcritérios; implementação AHP e normalização dos critérios;
- 7- Agregação do peso dos critérios e valores de atributos
- 8- Cálculo de área necessária para o aterro sanitário e análise da viabilidade; Avaliação das áreas de acordo com a sua dimensão;
- 9- Hierarquização das áreas obtidas, de acordo com a análise de Custo, Benefício e Risco.

A primeira fase centrou-se na consulta de livros, artigos científicos e legislação sobre o setor ambiental, e em particular sobre aterros sanitários em Angola. Posteriormente seguiu-se a procura de documentos e informação cartográfica de base, tanto analógica como digital do município de Viana. Nesta fase, foram recolhidas a cartas topográficas à escala 1:25000, cartas geológicas à escala 1:1000000, bem como outras informações relativas à população do município de Viana e limites administrativos.

Na fase subsequente fez-se a organização dos dados essenciais, mais diretamente ligados ao tema de estudo e a criação da base de dados em ambiente SIG, assim como o processo de organização e tratamento dos dados cartográficos e definições de critérios (Fatores).

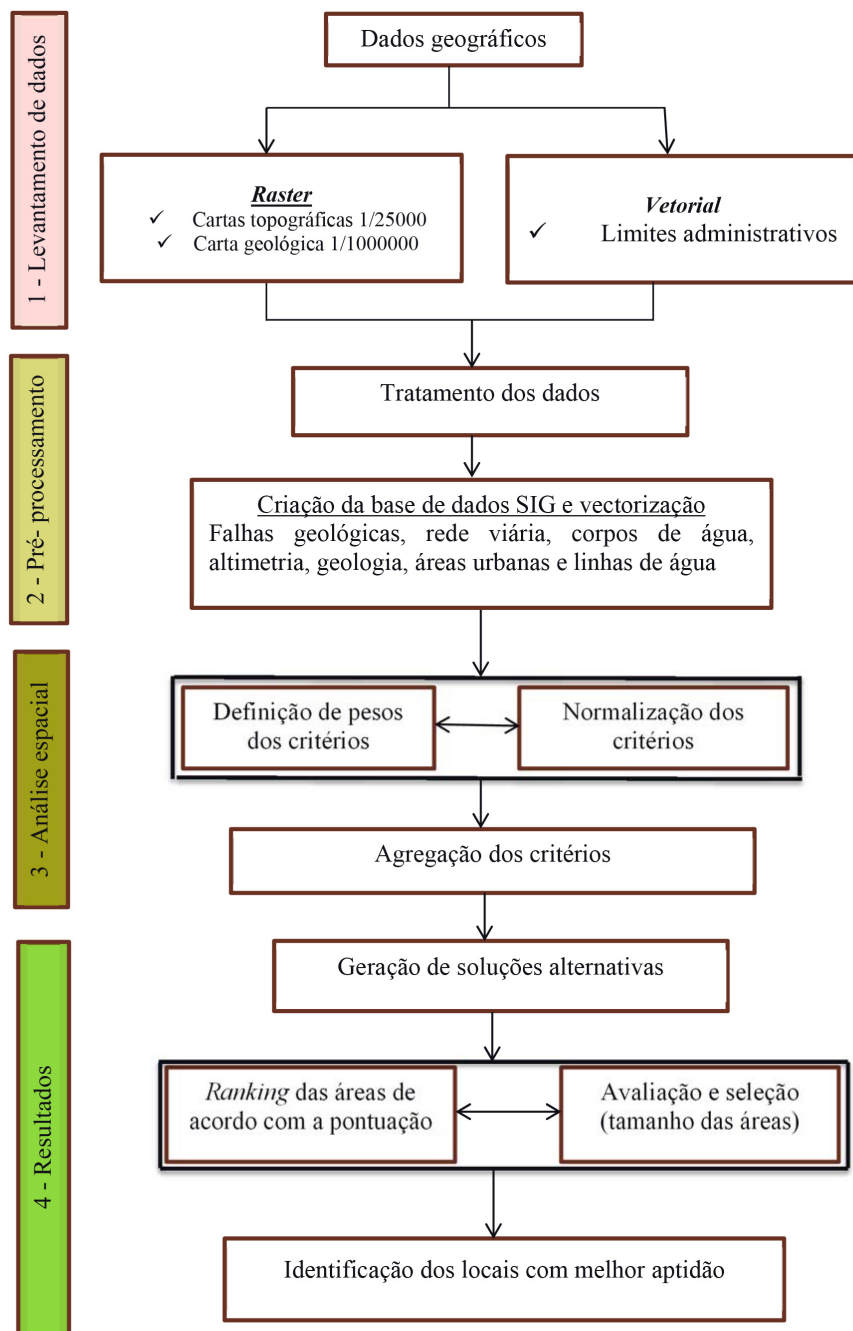


Figura 2 – Representação esquemática da sequência dos processos realizados.

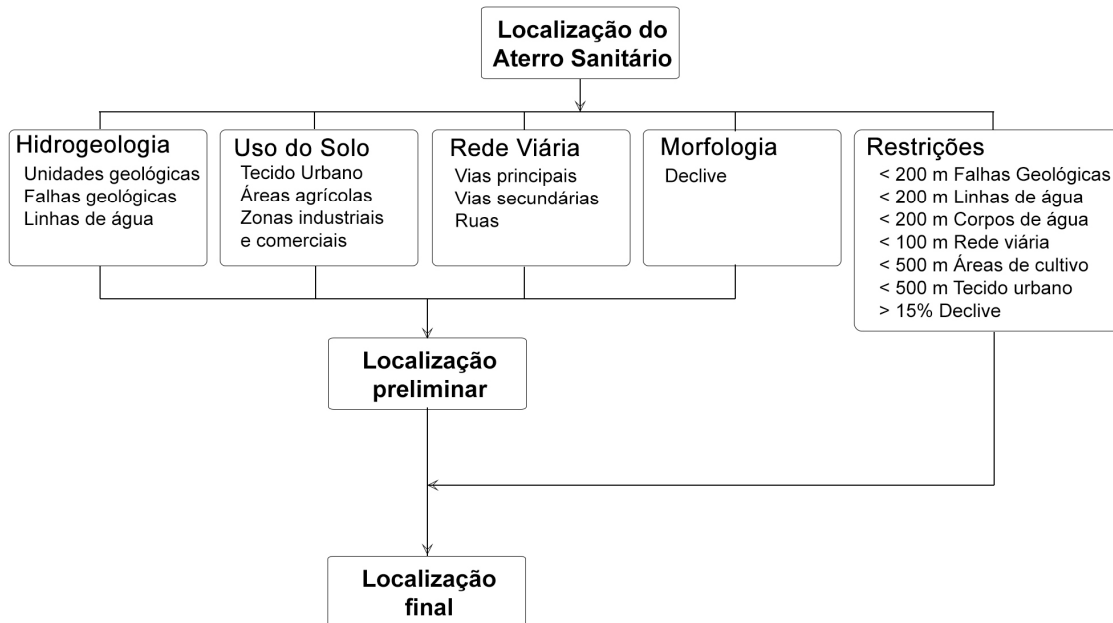


Figura 3: Estrutura do modelo de dados utilizado, adaptado e atualizado de Cabral (2012) e Sumathi et al. (2008).

Os critérios que foram tidos em conta descrevem-se seguidamente:

Critério ambiental

Distância mínima de 200 metros de qualquer corpo de água; visando preservar os recursos hídricos de possíveis contaminações por efluentes, de acordo com o que estabelece a Lei de Bases do Ambiente (Decreto-lei nº 5/98, de 19 de Junho) em relação aos cursos de água e à inclinação do terreno.

Distância mínima de 100 metros da rede viária; objetivando a preservação das áreas de circulação do impacto visual do aterro.

Distâncias mínima de 200 metros das falhas geológicas; objetivando a preservação dos aquíferos, assumindo que as falhas que condicionam de forma positiva a permeabilidade do terreno, e por conseguinte favorecem a circulação das águas subterrâneas e dos lixiviados resultantes da deposição dos resíduos.

Geologia (unidades geológica); considerando as áreas mais propícias para a implantação do aterro em função da permeabilidade do terreno, disponibilidade de material terroso para recobrimento e profundidade dos aquíferos.

Critério operacional

Declive mínimo de 1% e máximo 15%; considerando que o baixo declive favorece as operações de movimento de resíduos e solos além de oferecer condições menos críticas para o sistema de drenagens. Quanto menor for o declive da área em análise, mais apta ela será para a implantação do aterro sanitário.

Critério socioeconómico

Distância mínima de 500 metros do assentamento da população; visando, por um lado, a diminuição da distância percorrida pelos camiões no transporte dos resíduos, e por outro lado, proteger as povoações dos efeitos ambientais derivados da presença do aterro.

Distância mínima de 500 metros do centro de geração dos resíduos sólidos urbanos; quanto mais próximo estiver o aterro sanitário das áreas urbanas, mais fácil será processo de tratamento e deposição dos RSU.

Distância mínima de 500 metros às áreas de cultivo; quanto mais distante estiver o aterro sanitário das áreas de cultivo, mais apta será devido a propagação dos insetos que podem causar prejuízos às plantações.

A realização deste trabalho foi desenvolvida em modelo matricial, com o tamanho de *pixel* de 5 metros em ambiente SIG, de modo que se possa avaliar a favorabilidade de uma determinada área para a localização de aterro sanitário na Sede do Município de Viana, através da integração de análise multicritério AHP. As operações realizadas são nesta fase inicial do estudo, em parte, semelhantes às propostas por (Cabral, 2012). Na extensão *modelbuilder* do ArcGIS 10.1, desenvolveram-se várias operações de análise espacial em sistemas matriciais para a modelação dos critérios de análise tais como:

a) Hidrogeologia

Neste critério foram utilizados os seguintes parâmetros tais como: unidades geológicas, linhas de água, corpos de água e falhas geológicas, a partir das quais se criou uma zona de domínio ou tampão para todos os parâmetros com exceção da unidade geológica. Isto foi feito por meio da ferramenta *Multiple Ring Buffer*, obtendo-se assim áreas de restrição e áreas favoráveis para a localização do aterro em áreas em que se combinem favoravelmente os diferentes factores. De seguida foi criado o modelo cartográfico, utilizando as ferramentas necessárias, conforme ilustra a figura 4.

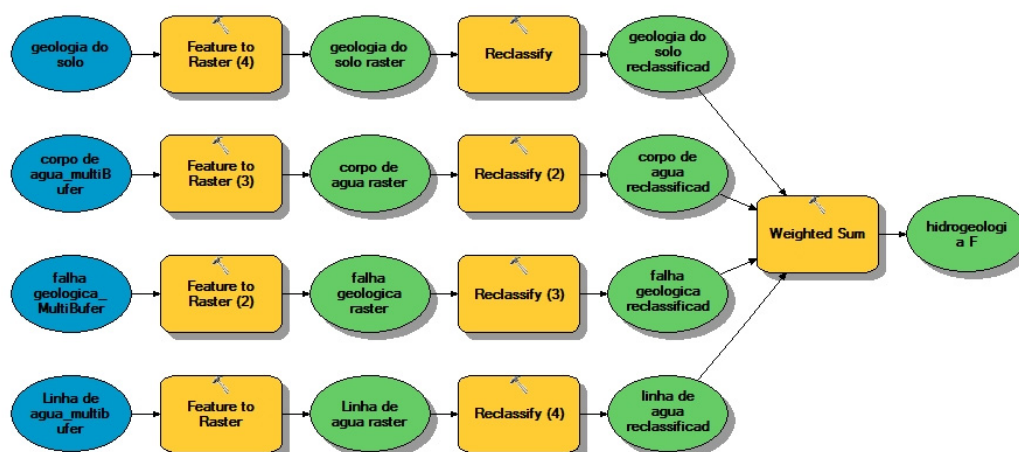


Figura 4: Operações utilizadas para a modelação do critério *hidrogeologia*.

b) Uso do solo

Para a modelação deste critério seguiu-se os mesmos passos dos modelos anteriores. As formas de ocupação do solo designadamente o tecido urbano, áreas comerciais e industriais foi integrado numa única *shape* por meio da ferramenta “*Merge*”, passando a ser designado como centro de produção de resíduos. Posteriormente foram associadas as áreas agrícolas. Após a integração foram criadas as zonas de restrição e zonas com aptidão para a localização do aterro, utilizando a ferramenta *Multiple Ring Buffer*, converteu-se para o formato *Raster (Feature to Raster)* e fez-se a ponderação (*Raster calculator*) obtendo-se assim um mapa final do uso do solo.

c) Rede Viária

No critério da rede viária definiu-se uma distância que permitiu gerar áreas de restrição e áreas com níveis de aptidão elevada para a localização do aterro, utilizando a ferramenta *Multiple Ring buffer* e posteriormente a conversão para o formato *raster*. Após a conversão do tema vetorial para *raster (Feature to raster)*, foi feita a normalização através da reclassificação (*Reclassify*) dos valores das imagens, agrupando desta forma, os valores das células com características semelhantes, resultando assim o mapa final da rede viária.

d) Morfologia

Os dados altimétricos utilizados na caracterização morfológica da área de estudo foram extraídos de uma carta topográfica à escala 1:25000, da qual se obtiveram os pontos cotados e as curvas de nível (com a equidistância de 5 metros para as curvas mestras e 2,5 metros para as curvas auxiliares). Com a ferramenta ***create TIN (Triangulated Irregular Network)*** da extensão *3D Analyst tools*, criou-se o Modelo Digital do Terreno (MDT). Com o tamanho da célula de 5 metros que contém a altitude média da área efetuou-se a conversão para o formato raster (*TIN to Raster*), calculou-se o declive através da ferramenta *Slope*. Com estes, e através dos processos de reclassificação, obtiveram-se as cartas finais de caracterização morfológica da área em apreço.

Modelo cartográfico final

Com a integração de todos os dados relativos aos critérios acima citados, nomeadamente através da soma ponderada com os pesos obtidos através do método AHP, obteve-se um resultado intermédio com as localizações favoráveis para a localização do aterro sanitário (figura 5). O resultado final com as localizações ideais para o aterro sanitário foi obtido como o produto do resultado cartográfico intermédio e os dos subcritérios ligados às restrições, sendo por isso fatores restritivos (linhas de água, falhas geológicas, corpos de água, uso do solo, rede viária e morfologia).

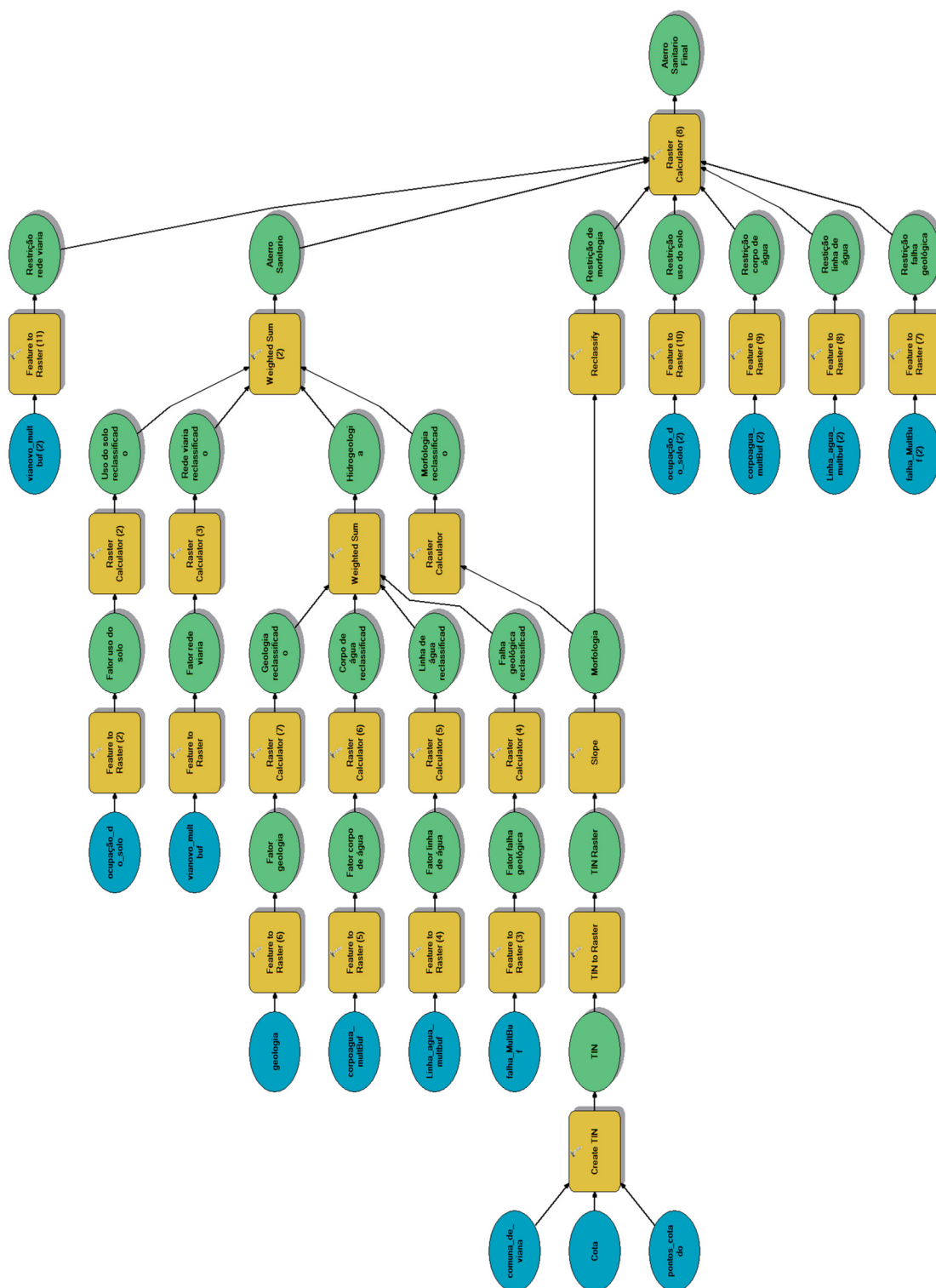


Figura 5: Representação esquemática do modelo cartográfico de cálculo, em ambiente SIG.

2. Fundamentação teórica

2.1 - Estado da arte

Neste capítulo acerca do estado da arte pretende-se reportar e analisar o conjunto de estudos, metodologias e trabalhos desenvolvidos sobre a definição de áreas para a localização de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, a fim de situar a abordagem utilizada para o desenvolvimento da investigação.

A escolha de áreas favoráveis para disposição de resíduos sólidos urbanos tem sido objeto de estudo de várias investigações no decorrer dos últimos anos. A possibilidade de aplicação de diversas disciplinas ao tema confere a este um caráter multidisciplinar, resultando em diferentes abordagens e métodos propostos.

Na literatura encontram-se várias técnicas e critérios para definir a melhor localização para a construção de um aterro sanitário, em ambiente SIG. As abordagens mais comuns têm sido a integração dos SIG e a análise multicritério (AHP, *fuzzy logic*, ...). Seguidamente, apresenta-se um pequeno resumo dos principais estudos que abordam esta temática, e que serviram, em grande parte, de inspiração para o estudo que ora se apresenta. Os estudos referidos seguidamente estão ordenados pela importância que lhe atribuímos, e não pela data de publicação.

1 - (Ramjeawon & Beerachee, 2008): *Site selection of sanitary landfills on the small island of Mauritius using the analytical hierarchy process multi-criteria method.*

Este artigo centra-se na aplicação de uma metodologia de análise multicritério e o processo de hierarquia analítica (AHP) integrado em ambiente SIG para a localização de áreas para o aterro sanitário na pequena ilha Maurícia. Quatro locais candidatos foram avaliados através de três principais critérios (ambientais, técnicos e socioeconómicos) e vinte e um subcritérios.

Foi feita pelos autores uma pontuação na base de classificação, que foi atribuída a critério e subcritério, por meio do interesse na localização de áreas de aterro e na base de avaliação do impacto de cada área em relação a outra, de modo a obter a sua importância relativa. O processo de hierarquia analítica foi então aplicado, o qual envolve a combinação dos pesos obtidos nas diferentes etapas de comparações de pares. As áreas candidatas foram finalmente classificadas para obter o local ideal.

As autoridades políticas escolheram a área com melhor classificação, para a localização de um novo aterro na ilha. Esta técnica proporciona uma abordagem realista

para uso em pequenos estados insulares em desenvolvimento, como para a ilha Maurícia.

2 - (Kara & Doratli, 2012): *Application of GIS/AHP in siting sanitary landfill: a case study in Northern Cyprus.*

Neste artigo fez-se o uso de técnicas de análise multicritério em ambiente SIG para avaliação de áreas potenciais para a localização dos aterros sanitários no Norte de Chipre. Para determinar a localização mais adequada para um aterro sanitário, foi utilizada a técnica de análise multicritério conhecido por processo de hierarquia analítica (AHP), o qual foi combinado com os SIG para analisar 12 critérios: distâncias ao centro geração de resíduos, distâncias a estradas, declive, distâncias a águas superficiais, distâncias a áreas de águas subterrâneas, distâncias a partir de áreas ambientalmente sensíveis, tipos de vegetação, produtividade do solo, permeabilidade do solo, distâncias das áreas de assentamentos das populações, distância dos sítios de culturas e distâncias das pedreiras.

Os pesos de importância relativa destes critérios foram estimados por meio da análise espacial SIG. Na fase final dois mapas de aptidão diferentes foram produzidos utilizando dois grupos diferentes de pesos. O primeiro mapa de aptidão do primeiro grupo tinha 11 052 ha com a classe de aptidão elevada, enquanto as áreas de alta aptidão diminuía para 5982 ha no segundo grupo. Além disso, as sete áreas potenciais identificados dentro do primeiro grupo, quatro das quais diminuiu no segundo mapa de aptidão.

3 - (Mutlutuerk & Karaguezel, 2007) *The Landfill Area Quality (LAQ) Classification Approach and Its Application in Isparta, Turkey.*

A quantidade de resíduos sólidos urbanos e industriais, e a necessidade de aterros sanitários, é cada vez maior devido o aumento da população e da produção industrial. A deposição em aterro é um método amplamente utilizado e ambientalmente segura para destino de resíduos sólidos, e a seleção de áreas adequadas para o aterro sanitário é uma decisão muito importante. Este artigo tem também como objetivo a avaliação de áreas adequadas para a localização do aterro sanitários, chamado Qualidade de Áreas para o Aterro (LAQ).

Este método é aplicado em duas fases. Primeiro, várias áreas potenciais de aterros que estão legalmente permitidas são escolhidas por uma consideração geral das propriedades do meio envolvente consideradas relevantes. Em seguida, as características destes locais escolhidos são colocadas dentro de três dimensões de avaliação. Essas dimensões de avaliação são: (1) adequação do local, (2) fatores de localização, e (3) aceitabilidade do público, e cada uma delas é definida por uma combinação de diferentes critérios. O resultado desta reavaliação fornece informações valiosas aos engenheiros de planejamento e os tomadores de decisão sobre os locais ou

áreas disponíveis, e é relatada aos tomadores de decisão para a seleção final. O caso de estudo detalhado foi realizado como parte de um projeto de localização de áreas de aterros de resíduos sólidos urbanos para a cidade de Esparta, na Turquia, com uma população de 150.000 habitantes, e foi muito útil para os planeadores.

4 - (Şener et al., 2011) *Solid waste disposal site selection with GIS and AHP methodology: a case study in Senirkent–Uluborlu (Isparta) Basin, Turkey.*

O principal objetivo é a escolha de áreas adequadas para a localização de aterro sanitário, como sendo um dos grandes problemas em gestão de resíduos. Neste estudo, a escolha do local para o aterro sanitário é realizada utilizando os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), o processo AHP e os métodos de deteção remota.

A bacia está localizada numa área de grande influência na região, por ter o aquífero de água doce mais importante da Turquia. Assim, a gestão de resíduos deve ser regulamentada de modo a proteger a bacia. Para esse objetivo foram utilizados dez critérios (litologia, águas superficiais, aquíferos, a profundidade das águas subterrâneas, uso do solo, lineamentos tectónicos, orientação de vertentes, elevação, inclinação e rede viária) são examinados tendo em vista a seleção da localização ideal do aterro. Cada critério foi identificado e ponderado utilizando AHP. Em seguida, os critérios foram mapeados em ambiente SIG, e preparada por sobreposição de análises. Os resultados indicam que 96,3% da área da bacia são inadequados; 1,6 % moderadamente adequados e 2,1% mais adequados. Finalmente, as áreas mais adequadas na bacia para a construção de um aterro de resíduos sólidos urbanos foram verificadas no campo. A seleção feita foi considerada como sendo adequada para a localização do aterro.

5 - (Şener et al., 2010) *Combinação do método ou técnica AHP com o Sistema de Informação Geográfica para a seleção de locais apropriados para aterro sanitário. Caso de estudo na bacia hidrográfica do lago Beysehir (Konya, Turkey).*

O principal objetivo deste artigo foi selecionar uma área potencial para a localização do aterro sanitário na bacia Beysehir, onde está localizado o lago de captação de água doce para o consumo. O Lago Beysehir é o maior lago de água doce e reservatório de água potável na Turquia, mas não há aterro controlado na região. Portanto, o aterro deve ser determinado de tal modo que o lago seja protegido.

Para determinar o local mais adequado, os autores usaram o processo de hierarquia analítica (AHP), que foi combinado com um sistema de informação geográfica (SIG) para examinar vários critérios tais como: geologia/hidrogeologia, uso e ocupação do solo, declive, altitude, orientação de vertentes, distância de assentamentos, águas superficiais, estradas e áreas protegidas (ecológicas, científicas ou históricas). Cada critério foi avaliado com o auxílio do AHP e mapeado em ambiente SIG. Os dados foram classificados em quatro classes de adequação da área de estudo, ou seja, alta,

moderada, baixa e muito baixa, o que representou 3,24%, 7,55%, 12,70% e 2,81%, da área de estudo, respetivamente. Além disso, 73,70% da área foi determinada como completamente inadequada para a localização do aterro. Como resultado, duas áreas candidatas para a construção de um aterro são sugeridas e discutidas. A decisão final para a seleção da localização do aterro requer estudos de campo mais detalhados.

6 - (Lupatini, 2012) *Desenvolvimento de um sistema de apoio a decisão na escolha de áreas para implantação de aterros sanitários.*

Este trabalho objetiva o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão na perspectiva de atender os profissionais envolvidos nas questões relacionadas com a escolha de áreas para implantação de aterros sanitários como forma de deposição final de resíduos. Nesta investigação abordaram-se os principais fundamentos da deposição final de resíduos na forma de aterros sanitários, e nos princípios de apoio à decisão através da análise multicritério.

O modelo obtido permitiu através das suas funções: triar preliminarmente áreas adequadas, verificar a adequação de uma área, realizar avaliações comparativas entre áreas segundo vários critérios (ambientais, de engenharia e/ou económicos) e ponderações definidas pelo utilizador e fornecer elementos de apoio para dimensionamento do aterro sanitário (vida útil e projeções de resíduos). Verificou-se que a implantação de aterros sanitários é formada por um conjunto finito de conhecimentos (técnicos, ambientais e económicos), os quais podem ser estruturados de maneira a apoiar as decisões de um utilizador/gestor do território não especialista. O desenvolvimento do sistema permitiu além da aquisição de conhecimentos, a criação de novos conhecimentos referentes à estruturação multicritério para o processo de escolha de áreas para a localização de aterros sanitários.

7 - (Samizava et al., 2011) *Sistema de Informação Geográfica aplicada na escolha de áreas potenciais para a instalação de aterro sanitário no município de Presidente Prudente em São Paulo – Brasil.*

Este trabalho, uma dissertação de mestrado, teve como objetivo a avaliação de áreas potenciais para instalação de um aterro sanitário no município de Presidente Prudente em São Paulo (Brasil) através do uso de metodologias baseadas em Sistemas de Informações Geográficas (SIG). O autor construiu, para o efeito, uma base de dados geográficos com dados de uso e ocupação do solo, geologia, hidrogeologia e informações socioeconômicas, os quais foram adotados no processo de análise espacial. Para a variável “profundidade do aquífero” foi feita interpolação dos dados existentes pelo método de *co-krigagem*. As representações numéricas das variáveis dos solos e geomorfologia foram tratadas com a técnica de importação semântica, a fim de suavizar os contactos agrupados em classes temáticas. A análise final deu-se pela avaliação

multicritério, combinando operações de lógica booleana (para a exclusão de regiões absolutamente inadequadas) e da lógica difusa (*fuzzy logic*), para avaliação de graus contínuos de aptidão. Nesse último caso, para cada critério avaliado foram atribuídos pesos, os quais se refletiram nos resultados alcançados para o cenário modelado. Esses pesos são atribuídos com o auxílio do método AHP (*Analytical Hierarchy Process*). Assim, obteve-se uma classificação de áreas, em que a aptidão varia de Inadequada a Adequada e cuja escala de medida varia de 0 a 255. O mapa síntese final mostra diversas áreas potenciais para a instalação de um aterro sanitário, indicando também, as áreas em que deveriam ser evitadas intervenções desse tipo.

8 - (Cabral, 2012) *Análise Multicritério e sistema de informação geográfica para a localização de áreas apropriada para o aterro sanitário em cabo verde.*

Este trabalho, também uma dissertação de mestrado, teve como objetivo identificação de áreas ótimas para a localização de aterro sanitário na Região Sul da ilha de Santiago, dentro dos requisitos legais e minimizando os impactos ambientais e socioeconómicos.

Para o estudo utilizou a análise multicritério em SIG para a localização de aterro sanitário e uma metodologia baseada nas ferramentas SIG (em formato *raster*) com integração da análise multicritério e do *Analytical Hierarchy Process* (AHP).

Com análise multicritério foi avaliada a aptidão da área de estudo, e com o AHP foi hierarquizado o problema e definida a importância relativa dos critérios. Para identificar as áreas com aptidão necessária para localização do aterro, foram utilizados catorze critérios. As áreas candidatas estão divididas 4 classes: Aptidão Nula, Baixa, Média e Alta. Estas áreas resultam da sobreposição dos critérios com base nos pesos. Nas áreas com aptidão elevadas, efetuou-se seleção dos locais com superfícies iguais ou superiores a 13,9 ha como sendo os locais ótimos para a implantação do aterro sanitário tendo em conta população a servir. Depois de todas as avaliações foram encontrados 3 locais que apresentam melhores condições, dos quais 2 no concelho da Praia e um concelho de São Domingos.

9 – (Al-Jarrah & Abu-Qdais, 2006) *Municipal solid waste landfill siting using inteligente system.*

Este artigo apresenta, como objetivo principal, o estabelecimento de critérios regionais ambientais, técnicos, sociais, legais e económicos que permitam a obtenção de locais mais adequados à instalação de um aterro sanitário. Para a seleção das possíveis áreas para a implantação de novos aterros sanitários é utilizada como ferramenta de trabalho os SIG. Os SIG são adequados a qualquer tipo de projeto cujo enfoque seja espacial, privilegiando projeto de planeamento. Os SIG utilizados pertencem a família de *softwares* MGE da INTERGRAPH. Esse conjunto de *softwares* é uma poderosa

ferramenta de análise e manipulação de dados espaciais. Como gestor da base de dados é aconselhado o *software* ORACLE. Num segundo momento, para a escolha de uma área ideal dentre as áreas selecionadas pelo SIG, utiliza-se a Metodologia de Avaliação e Hierarquização. Esta metodologia é baseada nos princípios da Análise de Valor, para a avaliação comparativa do desempenho das áreas pré-selecionadas, e da lógica difusa (*fuzzy logic*), para hierarquização das áreas que satisfaçam as características ideais.

10 – (Afzali, 2011) *Site selection for municipal landfill city by Isfahan. Use of fuzzy logic and AHP.*

O objetivo deste estudo é criação de uma metodologia para localização de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos. Este método é desenvolvido através das ferramentas SIG, lógica difusa e técnicas de análise multicritério. Neste método, os critérios são divididos em dois grupos distintos, o primeiro grupo compreende fatores relacionados com o ambiente físico, que não podem ser expressos em termos de valor monetários (custo); o segundo grupo inclui os fatores relacionados com as atividades do ser humano, ou seja, fatores socioeconómicos, que podem ser expressas como custo financeiro. Os SIG foram utilizados para aquisição e processamento de dados geográficos.

O AHP foi a técnica de análise multicritério de utilizada, com a normalização de fatores. Além de atribuir pesos a fatores através da AHP, o controle sobre o nível de risco na localização do processo é conseguido através de um segundo conjunto de pesos, ou seja, a ordem de pesos aplicada aos fatores em cada grupo, numa base de espacial (*raster*) levando em conta a características do local. O método foi aplicado no município de Evros (Grécia), numa área de aproximadamente 4.000 km². Da metodologia de implantação resultaram dois mapas de aptidão intermédios, um relacionado com o ambiente, e o outro com critérios socioeconómicos. A combinação dos dois mapas intermedios resultou num mapa final, que representa as áreas com maior aptidão para localização de um aterro sanitário.

11 – (Babalola & Busu, 2011) *Selection of landfill sites for solid waste treatment in Damaturu Town – Using GIS Techniques.*

Este trabalho, à semelhança dos anteriores, tem como objetivo a identificação de locais adequados para instalação de aterros sanitários, no estado de Morelos, México.

Para este trabalho foram selecionadas seis diretrizes (critérios) das normas federais mexicanas, que foram facilmente traduzidas em “regras” utilizadas no modelo. Cinco destas orientações são restritivas na natureza, e uma é opcional (por exemplo, se alguma das condições listadas na lista restritiva de diretrizes não é cumprida, o local (área) não pode ser usado para construir um aterro sanitário; no caso das orientações opcionais,

estudos adicionais podem ser necessários antes de declarar que o local é potencialmente viável).

Neste estudo, uma área total de 20.800 hectares, que se encontra nos regulamentos federais mexicanos, foi mapeada. Desta área apenas 4,3% corresponde à superfície total de terras do estado de Morelos. Com base nos critérios correspondentes à área do estado em questão, foi criado um modelo de cálculo. Este não teve resultados satisfatórios, pois violam as normas Federais, o que levou a uma extensa investigação no local, testes de campo e validação dos resultados obtidos.

12 – (Chang et al., 2008) *Combining GIS with fuzzy multicritério decision making for landfill siting in a fast – growing urban region.*

O presente trabalho teve por objetivo avaliar as características geotécnicas dos terrenos do município de Descalvado (SP, Brasil), visando localizar neste município áreas adequadas para a instalação de um aterro sanitário. Com base numa metodologia adaptada para condições de clima tropical, fez-se uma avaliação da adequabilidade desses terrenos, do qual foi selecionada sete critérios para a criação do modelo (declividade, materiais não consolidados, permeabilidade, geologia, corpo de água e rede viária) sendo que apenas 5,49% da área foi considerada adequada para a disposição de resíduos sólidos urbanos, do ponto de vista geotécnico. Para aplicação da metodologia e seleção das áreas com viabilidade geotécnica, utilizou-se a lógica *fuzzy*, ponderação dos fatores e análise multicritério com base no procedimento de análise hierárquica pareada (AHP – *Analytical Hierarchy Process*) combinando-se os atributos entre si utilizando-se o procedimento de combinação linear ponderado (WLC – *weighted linear combination*) avaliando-se o potencial favorável ou restritivo do ponto de vista geotécnico de acordo com os atributos do meio.

Os restantes estudos possuem metodologias similares às citadas anteriormente, pelo que se descrevem mais sucintamente de seguida.

Siddiqui et al. (1996) foram os precursores da combinação SIG/AHP. Os critérios identificados foram a hidrogeologia, a geologia, o uso e ocupação do solo e a proximidade dos centros urbanos como critérios de avaliação. Também Charnpratheep et al. (1997) utilizaram os SIG, mas em combinação com a teoria dos conjuntos *fuzzy* para localização de aterros na Tailândia. Kontos & Komilis (2005) e Javaheri et al. (2006), usaram também os SIG e a análise multicritério AHP para definição do peso das variáveis, para resolver o problema de localização de aterros, na Grécia e no Irão, respetivamente.

Por seu lado, Al-Jarrah & Abu-Qdais (2006) centraram-se sobre o problema da localização, usando um sistema inteligente baseado em inferência *fuzzy*, identificando critérios como a topografia e a geologia, os recursos naturais, socioculturais e os de segurança. Sener et al. (2006), integraram os SIG e a análise de decisão multicritério

(MCDA) para resolver o problema da localização de um aterro sanitário, através de mapas individuais de cada fator, posteriormente reclassificados.

Na mesma linha, Chang et al. (2008), combinaram os SIG e análise multicritério para localizar um aterro sanitário na área suburbana da Cidade de Harlingen, estado do Texas nos Estados Unidos da América. Wang et al. (2009) usaram uma metodologia semelhante, e consideraram os fatores financeiros e económicos como variáveis muito importantes para o problema de localização do aterro nos países em desenvolvimento. Da mesma maneira, Wan Hussin et al. (2010) usaram AHP e a combinação linear ponderada para localizar um aterro no distrito de Klang, na Malásia.

Estudos recentes realizados em África recorreram a tecnologia de SIG para identificar os locais ótimos para a localização de aterros. No entanto, o guia metodológico proposto por Rushbrook & Pugh (1999) foi um dos precursores da identificação e ponderação de vários critérios na escolha da localização de um aterro sanitário. Yahaya et al. (2010) fizeram a integração dos SIG com a análise multicritério para extrair áreas potenciais à implantação de aterros sanitários na Nigéria e utilizaram o método AHP para hierarquizar as duas áreas encontradas, com base na opinião de especialistas. Thoso (2008) utilizou os SIG e análise multicritério para implementar um aterro na cidade de Bloemfontein, uma das principais cidades da África do Sul; o já referido estudo de Cabral (2012) usou também estas ferramentas para localizar as áreas mais favoráveis numa parte da Ilha de Santiago, em Cabo Verde.

2.2 - Análise Multicritério

2.2.1 - Introdução

Os métodos de análise multicritério de apoio à decisão começaram a surgir a partir da década de 70 e tinham como meta enfrentar situações específicas, nas quais o decisor deveria resolver um problema, de tal modo que vários objetivos deveriam ser alcançados de forma simultânea. Esses métodos possuem um carácter científico e agregam consigo características importantes, nomeadamente as qualitativas. Um problema de decisão multicritério geralmente envolve a escolha de um número finito de alternativas baseadas num conjunto de critérios seleccionados (Saaty, 1996).

Ao longo dos anos, esses métodos têm servido como suporte essencial na resolução dos problemas que envolvem parâmetros não apenas quantitativos, mas também qualitativos como é o caso de aspetos sociais, impactes ambientais, etc. Esses critérios necessitam de decisões conscientes, de maneira a que a sua implementação garanta resultados eficientes e eficazes para o ser humano (Saaty, 2008).

A análise multicritério tem como principal objetivo apoiar as escolhas, tendo em conta os interesses vigentes, as dúvidas e incertezas, os conflitos de informação, a concorrência entre vários critérios, etc. Na realidade, ela trata de problemas cuja formulação está sujeita a alterações ao longo do seu processo de solução, visto que o

próprio processo de decisão é considerado com sendo parte integrante do problema (Parreiras, 2006).

A abordagem clássica da análise multicritério, desenvolvida por investigadores americanos, fundamenta-se em modelos matemáticos restritivo e axiomas rígidos, que determinam como o decisor deve agir para que a sua decisão seja racional.

O facto de a Investigação Operacional (IO) se focalizar sobretudo na capacidade e limitações da racionalidade humana, originou novas abordagens no campo de apoio à decisão, com destaque para o processo de Análise Hierárquica, desenvolvido pelo Americano (Saaty, 1977) e aos métodos desenvolvidos por investigadores Franceses (Parreiras, 2006).

2.2.2 - AHP - Analytic Hierarchy Process

A síntese que se apresenta seguidamente baseia-se essencialmente nos trabalhos de Saaty (1977, 1980, 1996, 2000, 2008) e Parreiras (2006).

2.2.2.1 - Evolução histórica

O AHP, método de Análise Hierárquica, desenvolvido por Thomas L. Saaty, na Universidade de Pensilvânia, baseia-se na aplicação de uma ferramenta de Investigação Operacional, no campo da Análise de Decisão Multicritério.

Essa teoria teve as suas origens em 1971, quando Saaty trabalhava para o Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América, em resposta ao necessário planeamento de contingência militar e empresarial, tomada de decisão, alocação de recursos escassos, resolução de conflitos e a necessária participação política nos acordos negociados. Um ano depois, foi aplicada num estudo para uma organização no racionamento de energia para indústrias.

A maturidade aplicada da teoria surgiu com o estudo dos transportes do Sudão, em 1973, que Saaty dirigia. Desde então, tem sido uma metodologia variada e útil, que fornece a cientistas de diferentes áreas científicas uma nova forma de analisar os seus problemas.

A análise de um problema de tomada de decisão é feita a partir da construção de níveis hierárquicos, e o problema é decomposto em fatores. Estes por sua vez são decompostos num outro nível de fatores, e assim sucessivamente até determinar os níveis necessários para o problema em análise. Esses elementos são organizados de forma descendente tendo os objetivos finais no topo, seguido dos decisores e finalmente os vários resultados possíveis dos cenários. Os cenários determinam as probabilidades de se atingir os objetivos influenciados pelos decisores. Estes, por sua vez, guiam as forças que finalmente causarão impacto nos objetivos finais. Portanto o AHP parte do geral para o mais particular e concreto.

O processo permite estruturar hierarquicamente qualquer problema complexo, com muitos critérios, com muitos decisores, e com múltiplos períodos. É um método flexível, fundamentado na lógica, mas ao mesmo tempo, utiliza a intuição. O sucesso que se obtém nas aplicações do método fundamenta-se na capacidade de incluir e medir fatores importantes (qualitativos e quantitativos, sejam eles tangíveis ou intangíveis), bem como a facilidade de uso.

2.2.2.2 - Elementos Fundamentais do método AHP

Os elementos fundamentais do AHP são:

- i) **Atributo ou critérios:** é em função de um conjunto finito de critérios que um número finito de alternativas é comparado.
- ii) **Correlação Binária:** quando duas alternativas são comparadas em função de um critério, realiza-se uma comparação binária na qual uma alternativa pode ser preferível ou indiferente relativamente a outra.
- iii) **Escala Fundamental:** a cada alternativa associa-se um valor de prioridade sobre as outras alternativas, que será lido numa escala numérica de números positivos e inteiros.
- iv) **Hierarquia:** um conjunto de alternativas ordenadas por ordem de preferência e homogêneas nos seus respectivos níveis hierárquicos.

2.2.2.3 - Processo Analítico do método AHP

O decisor deve estruturar o problema em estudo, combinando os critérios segundo os diversos níveis hierárquicos necessários, para que se obtenha uma representação fiel do problema. Dessa forma, determinam-se as alternativas pertinentes, que serão estudadas sob a ótica de cada critério do nível hierárquico mais baixo. Porém, os critérios devem ser homogêneos e não redundantes, conforme se segue:

Homogeneidade: os critérios de um determinado nível hierárquico devem apresentar o mesmo grau de importância relativa dentro do seu nível, ou seja, no momento de elaborar a hierarquia, é necessário ter cuidado para não aplicar critérios de grau inferior num nível superior, pois tal situação poderia causar distorção nos resultados por causa de uma possível sobrevalorização.

Não redundância: uma hierarquia, geralmente linear, é uma estrutura que representa a dependência dos diversos níveis que a compõem, sequencialmente. A redundância num critério pode ser evitada ao assumir-se a independência de um determinado nível em relação aos níveis inferiores. Na prática pode-se testar uma hierarquia ao observar se os critérios de um dado nível superior podem ser utilizados como argumentos de um nível inferior. A não ocorrência evidencia a não redundância.

2.2.2.4 - Etapas do Processo AHP

O AHP consiste nas seguintes etapas fundamentais para a solução do problema:

- 1- Definição do problema e o objetivo;
- 2- Modelação do problema através da hierarquia, iniciando-se pelo objetivo principal, passando pelos critérios e subcritérios de avaliação, até chegar ao nível mais baixo da hierarquia, representado pelas alternativas que estão a ser avaliadas;
- 3- Elaborar a matriz $n \times n$ do nível mais baixo da hierarquia, comparando as importâncias relativas para cada par de alternativas em relação ao nível imediatamente superior. Os valores atribuídos podem ser observados na Escala de Saaty. O número de comparação necessária é calculada pela fórmula $[n(n-1)]/2$ tendo em conta que as recíprocas são logicamente denominador;
- 4- Calcular a matriz de síntese de prioridades; o vetor de prioridades é o valor próprio;
- 5- Calcular o índice de consistência (IC);
- 6- Verificar a rácio de consistência (RC) ou razão de consistência. Se for inferior a 10%, considera-se o julgamento consistente;
- 7- As etapas acima são repetidas para cada um dos níveis da hierarquia de decisão.

2.2.2.5 - Estrutura Hierárquica

De acordo com (Gomes et al., 2004), “a existência de uma hierarquia de decisão é o ponto principal do método AHP”.

Uma hierarquia é uma estrutura simples, usada para representar simplesmente o tipo de dependência de um nível ou comportamento de um sistema com outro de maneira sequencial. É também uma maneira conveniente de decompor um problema complexo numa investigação de explicações de causa e efeito, em passos nos quais formam uma cadeia linear (Schmidt, 1995).

No início da hierarquia figura-se o objetivo global ou critérios síntese, nos níveis sucessivamente inferiores representam-se os critérios que causam algum impacto sobre o critério de nível superior. E no último nível da hierarquia, devem estar as alternativas consideradas, ou seja, a estrutura hierárquica é descendente do objetivo geral para o critério, subcritério e alternativas em níveis sucessivamente (Schmidt, 1995).

Este facto pode ser observado na figura 5 que representa uma estrutura hierárquica do método AHP de três níveis com n critérios e n alternativas.

Assim que se finaliza a estruturação, continua-se com a fase de modelação do método propriamente dito.

Basicamente, as vantagens das hierarquias são as seguintes (Schmidt, 1995):

- i) A representação hierárquica pode descrever como as mudanças em prioridades dos níveis mais altos, afetam a prioridade dos níveis mais baixos;

- ii) Ajudar todos os envolvidos no processo de decisão a entenderem o problema da mesma forma. Ao mesmo tempo, permitir visualizar as relações entre os fatores de nível mais baixo;
- iii) O desenvolvimento dos sistemas estruturados hierarquicamente é muito mais eficiente do que os estruturados de forma geral;
- iv) As hierarquias são estáveis; pequenas modificações têm efeitos pequenos e flexíveis. A adição a uma hierarquia bem estruturada não perturba o desempenho.

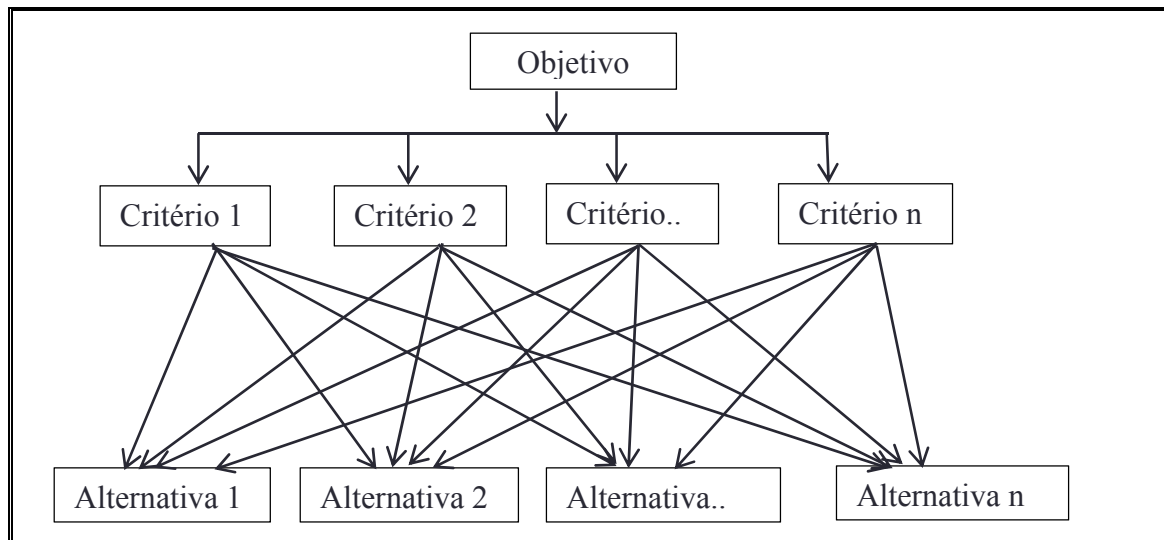


Figura 6: Exemplo de uma estrutura hierárquica em três níveis (adaptado de Schmidt, 1995).

2.2.2.6 - Julgamentos

No método AHP os julgamentos são realizados na forma de par de comparação. O decisor transforma as informações avaliáveis em pares de comparação.

O uso da hierarquia é que nos permite focalizar separadamente os julgamentos, em cada uma das diversas prioridades essenciais, para tomar uma decisão segura. O modo mais eficiente para concentrar julgamentos, é tomar um par de elementos e compará-los relativamente a única propriedade, eliminando-se as relações com outras propriedades ou outros elementos.

Algumas vezes, as comparações são feitas com base na estabilidade padrão da memória, através da experiência; neste caso, os axiomas da teoria são transparentes. Se o decisor não puder fornecer uma resposta, então a pergunta não é significativa ou as alternativas não são comparáveis.

Os axiomas são os seguintes (Schmidt, 1995):

Axioma 1 – Comparação recíproca: O decisor deve ser capaz de fazer comparação e manifestar a força das suas preferências. A intensidade dessas preferências deve satisfazer a condição de reciprocidade: se **A** é x vezes mais preferível que **B**, logo, **B** é $1/x$ vezes mais preferível que **A**.

A não ocorrência deste axioma indica que a pergunta usada para elucidar os julgamentos ou pares de comparação, não é clara ou correta. Neste caso, devem ser reavaliados os elementos ou os níveis da hierarquia.

Axioma 2 – Homogeneidade: as preferências são representadas pelo princípio de uma escala limitada.

Este axioma restringe o limite superior da escala. Na prática este limite superior possui somente uma ordem de magnitude, isto é 9. Se os elementos a serem comparados não pertencem a um grupo homogêneo, eles podem ser ordenados em diferentes grupos, e comparados com elementos da mesma ordem de magnitude.

Axioma 3 – Independência: quando as preferências são declaradas, assume-se que os critérios são independentes das propriedades das alternativas.

Este axioma implica que os pesos dos critérios devem ser independentes das alternativas consideradas. Um modo de terminar a violação deste axioma é o uso da generalização do AHP, conhecida como a abordagem da super-matriz, a partir do método ANP (*Analytic Network Process*).

Axioma 4 – Expetativa: para a proposta do decisor, supõe-se que a estrutura hierárquica seja completa.

O não cumprimento deste axioma, implica que o decisor não faz o uso de todos os critérios ou todas as alternativas avaliáveis ou necessárias, para encontrar as expetativas racionais, e assim a decisão são incompletas.

2.2.2.7 - Comparação Par-em-Par

Para os problemas onde não se pode ou não se tem as condições de validar os resultados, através de uma medição com instrumentos, o processo de comparação par-a-par é uma ferramenta muito útil. Embora, o número de pares de comparação necessária em problemas reais, se torne, frequentemente, muito alto.

As comparações paritárias, em combinação com a estrutura hierárquica, são úteis para a dedução de medidas, isto é, os pares de comparação são usados para estimar a escala fundamental unidimensional, na qual os elementos de cada nível são medidos. Isto pode ser efetuado, aplicando o método de auto-vetor principal na matriz de comparação paritária.

A proposta do método AHP é fornecer um vetor de pesos para expressar a importância relativa dos diversos elementos. O primeiro passo é medir o grau de importância do elemento de um determinado nível, sobre aqueles de um nível inferior, pelo processo de comparação par-em-par feito pelo decisor. A quantificação dos julgamentos é feita utilizando uma escala de valores que varia de 1 a 9 (igual, pouco, muito, bastante, extremamente e valores intermédios), conforme apresentado nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Escala de Comparação par-em-par.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente	Bastante	Muito	Pouco	Igual	Pouco	Muito	Bastante	Extremamente
Menos Importante					Mais Importante			

Fonte: (Saaty, 1980)

Tabela 2: Visualização prática do julgamento par-em-par.

Nível de importância	Valor
Igual importância	1
Igual/Pouca importância	2
Pouca importância	3
Pouca/Muita importância	4
Muita importância	5
Muita/Bastante importância	6
Bastante importância	7
Bastante/Extrema Importância	8
Extrema Importância	9

Quando uma atividade **i** em relação a outra atividade **j** recebe um dos valores da tabela, a atividade **j** em relação a atividade **i** receberá o valor recíproco.

Cada comparação paritária representa uma estimativa do coeficiente das prioridades ou dos pesos de cada elemento. Ao relacionar cada critério em função das alternativas tendo em conta a escala verbal apresentada anteriormente, o juízo verbal transforma-se numa escala de valores numéricos.

2.2.2.8 - Formulação Matemática do Método AHP

Após a construção da estrutura hierárquica, uma comparação paritária de cada elemento num determinado nível hierárquico deve ser feita por cada decisor, criando assim uma matriz de decisão quadrada, tendo um elemento de um nível superior C_k , do qual será feita a comparação dos elementos de nível inferior A_j , em relação a C_k , deste modo, gera-se uma matriz quadrada de preferências.

Uma alternativa é considerada superior a outra se ela domina a mesma em número de fatores maior que o número de fatores nos quais a outra alternativa a domina (Gomes et al., 2004).

Cada elemento a_{ij} do vetor linha da matriz de decisão indica a dominação da alternativa A_i sobre a alternativa A_j . A diagonal principal dessa matriz é preenchida por um valor estipulado, que indica a não-dominância de uma alternativa sobre a outra (figura 6).

$$\begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{21}} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{n1}} & \frac{1}{a_{n2}} & \cdots & 1 \end{pmatrix}$$

Figura 7: Matriz de decisão do método AHP.

2.2.2.8.1 - Medida de Consistência

Pequenas variações em a_{ij} implicariam pequenas variações em valor próprio (λ_{\max}), pelo que o desvio do valor próprio em relação a n é considerado uma medida de consistência.

Segundo (Gomes et al., 2004), valor próprio (λ_{\max}) permite avaliar a proximidade da escala desenvolvida pelo Professor Thomas L. Saaty em 1980 com a escala de razão ou quocientes que seria utilizada se a matriz A fosse totalmente consistente. Essa avaliação pode ser feita por meio de um Índice de Consistência (**IC**).

Teorema: a matriz A é consistente se, o valor próprio da matriz A for maior ou igual a n , onde n é o número de alternativas.

Se a matriz A é consistente, então ao calcular a magnitude da perturbação da matriz A , através da relação representada na Equação 1, O IC terá um valor menor que 0,10.

$$IC = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad \text{Equação 1}$$

Porém, os juízos apresentados além de terem a possibilidade de violar a relação de consistência, podem não ser transitivos. Deste modo, a utilização de processos matemáticos que forcem a obtenção da consistência, deve ser muito cautelosa já que podem alterar significativamente o resultado do problema.

Portanto, o decisor deve ser o único a alterar o juízo realizado.

Segundo (Schmidt, 1995) citando Saaty, consistência significa que, quando uma quantidade básica de julgamentos de uma matriz forem feitos, isto é, pelo menos $(n-1)$ comparações, passa-se a deduzir os outros julgamentos até completar toda a matriz.

Para validar as comparações feitas, calcula-se a *Consistency Ratio* (Razão de Consistência - **RC**) pela fórmula:

$$RC = \frac{IC}{RI} \quad \text{Equação 2}$$

Onde **IC** corresponde ao Índice de Consistência. Esse cálculo fornece como resultado um novo vetor, em que cada elemento é dividido pelo elemento correspondente no vetor próprio, e os resultados são somados. Calcula-se em seguida a média. Por sua vez, **RI**

(*Random Consistency Index* – Índice de Coerência Aleatória) é um índice aleatório, calculado para matrizes quadradas de ordem **n** pelo Laboratório Nacional de Oak Ridge, nos Estados Unidos.

A seguir são apresentados (tabela 3) os resultados de RI para matrizes de ordem 1 a 15, para uma amostra de tamanho 100.

Tabela 3: valor de RI para Matrizes quadrada de ordem até 15.

Ordem da matriz (n x n)	RI	Ordem da matriz (n x n)	RI
1	0	9	1,45
2	0	10	1,49
3	0,52	11	1,51
4	0,9	12	1,54
5	1,12	13	1,56
6	1,24	14	1,57
7	1,32	15	1,59
8	1,41		

Fonte: (Saaty, 2000)

Quanto maior for RC, maior será a inconsistência. Se $n = 2$, RC é nulo; quando $n = 3$, RC deve ser menor que 0,05; para $n = 4$, deve ser menor que 0,09. Em geral, para $n > 4$, uma inconsistência é considerada aceitável se $RC \leq 0,10$.

Ao utilizar a matriz de decisão A, o Método AHP calcula os resultados parciais do conjunto A dentro de cada critério $v_i(A_j)$, $j = 1, \dots, n$, denominado valor impacto da alternativa j em relação á alternativa i, em que esses resultados representam os valores numéricos das atribuições verbais dadas pelo decisor a cada comparação de alternativas.

Esses resultados são normalizados pela expressão:

$$\sum_{i=1}^n \bar{v}_i(A_j) = 1, \text{ sendo } j = 1, \dots, n \quad \text{Equação 3}$$

Onde **n** corresponde ao número de alternativas ou elementos comparados. Cada parte desse somatório consiste em:

$$\bar{v}_i(A_j) = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, \text{ sendo } j = 1, 2, \dots, n \quad \text{Equação 4}$$

Isso faz com que o vetor de prioridades da alternativa **i** em relação ao critério **C_k** seja:

$$\bar{v}_k(A_i) = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{v}_i(A_j)}{n}, \text{ sendo } i = 1, 2, \dots, n \quad \text{Equação 5}$$

Depois de obtido o vetor de prioridades ou de impacto das alternativas sob cada critério continua-se com o nível dos critérios. Nesse caso, segundo o autor, adapta-se novamente a escala verbal para a classificação par em par dos critérios, que são normalizados a partir da fórmula:

$$\bar{w}_i(C_j) = \frac{c_{ij}}{\sum_{i=1}^m c_{ij}}, \text{ sendo } j = 1, 2, \dots, m \quad \text{Equação 6}$$

Onde **m** corresponde ao número de critérios de um mesmo nível. O vetor de prioridade é:

$$\bar{w}(C_i) = \frac{\sum_{j=1}^n \bar{w}_i(C_j)}{m}, \text{ sendo } i = 1, 2, \dots, m \quad \text{Equação 7}$$

Finalmente, um processo de agregação permite gerar os valores finais das alternativas, ordenando-as por meio da seguinte função aditiva:

$$\bar{f}(A_j) = \sum_{i=1}^m \bar{w}(C_i) * v_i(A_j), \text{ sendo } j = 1, 1, \dots, n \quad \text{Equação 8}$$

Note-se que **n** refere-se ao número de alternativas.

Deste modo, obtém-se uma ordenação global por intermédio de uma função global de valoração.

2.2.2.8.2 - Critérios de Controlo

Toda a decisão envolve benefícios (B), oportunidades (O), custos (C) e riscos (R). Estes parâmetros, no método AHP, são designados por critérios estratégicos, orientam os chamados critérios de controlo que podem ser verificados, com exceção dos custos que possuem certa facilidade para serem enumerados por serem critérios essencialmente económico-financeiros. Os demais são critérios qualitativos cuja mensurabilidade não é fácil. Todavia, através da análise hierárquica é possível determinar numericamente parâmetros qualitativos e quantitativos em simultâneo.

O problema passa a ter uma nova estrutura hierárquica em função dos critérios ora estabelecidos. Cada um desses critérios possui por sua vez a sua própria hierarquia e, deste modo, faz-se uma análise que consiste em priorizar o critério de controlo de acordo com a sua importância.

Na análise de um problema que envolve benefícios e custos, o decisor deve interrogar-se se os benefícios justificam os custos. Em caso afirmativo, então os benefícios são mais importantes que os custos e portanto, a decisão basear-se-á apenas em função dos benefícios. Se os dois parâmetros possuem valores aproximados, então ambos devem ser considerados. Neste caso, utiliza-se duas hierarquias e faz-se a escolha por meio da razão de prioridades das alternativas:

Benefícios b_i /custos c_i

Tendo porem todos os critérios presentes, a decisão final, segundo essa abordagem será obtida com a aplicação de uma das seguintes fórmulas:

Formula aditiva (negativa): $bB + oO - cC - rR$ Equação 9

Fórmula multiplicativa: $(bB * oO)/(cC * rR)$ Equação 10

Onde B, O, C e R indicam benefícios, oportunidades, custos e riscos respetivamente; b, o, c e r indicam os valores finais para cada alternativa em relação aos critérios estratégicos benefícios, oportunidades, custos e riscos respetivamente.

2.2.2.9 - Limitações do Método AHP

A base do método AHP assenta no facto de que o decisor expressa as suas avaliações verbalmente, e posteriormente transforma-as numa escala de razão de critérios, numa escala de razão de preferências. No entanto, este facto choca com o princípio da função aditiva, que se adapta melhor a uma escala de intervalo (Gomes et al., 2004).

O método tem sido questionado constantemente, devido à sua contrariedade à inversão de ordem, ou seja, a posição relativa das alternativas pode ser alterada, dependentemente da introdução ou remoção de uma alternativa antes não considerada na análise. Porém, para qualquer tipo de estudo, é difícil não delimitar no início, quais os fatores a serem considerados e quais serão descartados.

A introdução de uma alternativa no problema, que ocasiona a inversão de ordem mostra que, na fase de modelagem, possam ter ocorrido falhas. Daí que, adapta-se uma escala absoluta para se evitar acontecimentos dessa natureza.

Dentro dessa abordagem, surgiram três versões do Método AHP que, por meio das suas novas características, resolvem o problema de inversão de ordem. Tais versões são: o **Método AHP Multiplicativo** proposto por Lootsma & Schuijt (1997), o **Método AHP Referenciado** que surgiu a partir da controvérsia relacionada aos valores dos critérios e das alternativas e o **Método AHP B-G** baseado nas críticas de Belton & Gear (1983), que alertaram sobre a ocorrência da inversão de ordem com a introdução de uma nova alternativa.

Schoner e Wedley, citados por Gomes et al. (2004), argumentam que a inversão de ordem não resulta só da introdução de uma nova alternativa, mas sim da introdução de uma nova alternativa sem a adequada reavaliação dos valores atribuídos aos elementos do nível hierárquico superior. Porém, concorda que o uso de uma escala absoluta resolve o problema de inversão de ordem, pois a composição final dos pesos permanece equitativa, não acontecendo a suposta inversão.

2.2.2.9.1 - Vantagens do Método AHP

Dentre as vantagens que o AHP possui sobre os outros métodos multicritérios, destacam-se as seguintes:

- 1) Facilidade de uso;
- 2) Habilidade de manusear com julgamentos inconsistentes. Os julgamentos de pessoas que atuam unilateralmente, raramente são consistentes;
- 3) Orienta o grupo de decisores a uma decisão específica de forma consensual;
- 4) Providencia oportunidade para examinar litígios e estímulo a discussão e opinião dos participantes;
- 5) Permite a permutabilidade dos critérios e alteração do julgamento;
- 6) Organiza, prioriza e resume a complexidade numa estrutura lógica;
- 7) Garante um sistema de medida atual. Permite estimar magnitudes relativas e obter uma escala de razão precisa;
- 8) Permite representar problemas de decisão em estruturas de hierarquias e redes, e é capaz de lidar com problemas que envolvem riscos e predições.

2.3 – Aterros Sanitários

2.3.1 - Introdução

No decorrer do tempo, o desenvolvimento das tecnologias permitiu os inúmeros avanços referentes aos destinos dos resíduos sólidos urbanos, dando origem ao surgimento da problemática de sustentabilidade ambiental, promovida em diversos âmbitos da sociedade, o que possibilitou dar maior exigência por parte dos diferentes setores da sociedade civil, em solucionar os problemas inerentes à gestão do lixo dos centros urbanos. Com estas abordagens existentes, destinadas a lidar com os resíduos sólidos produzidos diariamente pelas atividades humanas, concorre para um consenso baseado na hierarquia de alguns princípios, entre os quais se destacam: a minimização das quantidades de resíduos gerados (através da mudança de hábitos ou processos de poluição); a reutilização e valorização dos resíduos produzidos (agregação de um valor económico e funcional aos mesmos) e por último a eliminação dos resíduos que ambientalmente não podem ser geridos através das alternativas anteriores (Rushbrook & Pugh, 1999).

No entanto, para o contexto de gestão integrado, os resíduos que não puderem ser reutilizados ou reciclados bem como os rejeitos remanescentes dos processos de separação, reciclagem e compostagem são encaminhados para as unidades de disposição final (aterros sanitários). Com esta utilização dos aterros sanitários apresentam-se como forma de deposição final de resíduos, e têm encontrado grande aplicabilidade, uma vez que este método quando comparado com outras técnicas apresenta pequenos custos e facilidade operacional (Cabral, 2012; Rushbrook & Pugh, 1999).

Para este trabalho o objetivo é caracterizar a disposição final de resíduos em aterros sanitários através da abordagem relacionada aos aspetos técnicos e ambientais de modo a proteger o meio e facilitar as operações. Nas seções seguintes faz-se uma abordagem da importância na escolha de áreas apropriado para o caso de análise, através da definição e caracterização de todo processo de escolha.

2.3.2 - Definições

Geralmente o termo aterro sanitário tem sido utilizado para definição da instalação feita em obras de engenharia usada para o depósito de resíduos sólidos no solo. Esta obra é devidamente projetada e operada a fim de minimizar o impacto à saúde pública e ao ambiente (Rushbrook & Pugh, 1999; Vega y de la Fuente, 2003).

Com o decorrer do tempo, tendo em conta o conceito geral utilizado para referir os aterros sanitários, têm surgido alguns pontos de vista diferentes em relação ao conceito, tendo sido considerado simplista e até mesmo desatualizado por vários autores por não considerar todos os requisitos que um aterro moderno deve cumprir.

Neste sentido, são sugeridos os termos “aterro ambiental” (Frantzis, 1993) ou “aterro sustentável”, expressão utilizada por (Westlake, 1997) para definir um aterro projetado e operado de maneira que os riscos ambientais de curto e longo prazo sejam minimizados a níveis aceitáveis. A legislação francesa por sua vez refere-se a estas instalações de engenharia como “centros de aterramento técnico”, correspondendo a locais estruturados para receber certas famílias de resíduos que são acumulados e enterrados em condições compatíveis com a preservação do meio ambiente.

O aterro sanitário para resíduos sólidos urbanos é uma instalação utilizada para a deposição nos terrenos da superfície terrestre os rejeitos precedentes dos resíduos sólidos. Atualmente, um aterro sanitário controlado, refere-se a uma instalação de engenharia para a deposição dos resíduos sólidos urbanos, projetada e explorada para minimizar os impactos ambientais sobre a saúde pública (Rushbrook & Pugh, 1999). Na figura 8 apresenta-se um exemplo típico deste tipo de instalações.

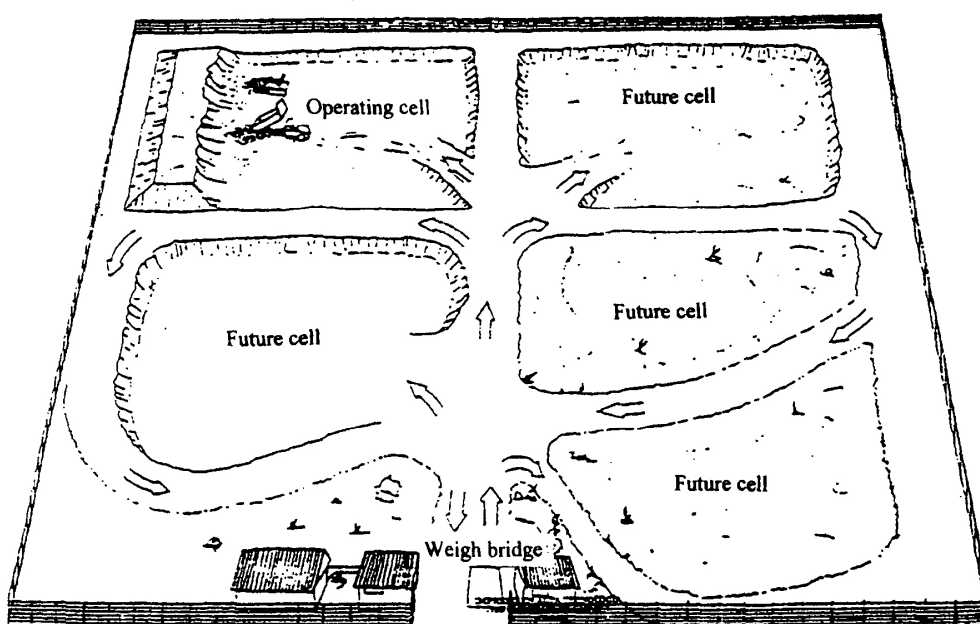


Figura 8 – Instalação típica de um aterro sanitário, segundo Rushbrook & Pugh (1999).

Em qualquer instalação deste tipo ocorre de forma natural, a partir dos resíduos depositados e eventualmente da circulação de águas subterrâneas, a formação de lixiviados. O lixiviado é um líquido que se acumula no fundo do aterro sanitário. De modo geral é o resultado das águas da precipitação em escorrência não controladas que entram nos aterros e dissolvem parte dos materiais aí depositados. Os lixiviados podem incluir também águas contidas inicialmente nos resíduos.

2.3.3 - Aspectos técnicos relacionados aos aterros sanitários

Os elementos de impacto de um aterro sanitário com possibilidade de causar prejuízos aos meios físicos, antrópico e biótico variam consideravelmente de acordo com as fases do ciclo de vida do aterro. Estes elementos são também variáveis em função do tamanho do aterro, das características dos resíduos aí depositados, das condições climáticas e das características dos locais escolhidos para implantação do aterro. Neste sentido, depois de uma avaliação precisa dos aspectos ambientais relacionados com aterros sanitários, faz-se uma análise específica necessária, para cada caso.

Em função das características dos resíduos depositados, o aterro sanitário é classificado segundo o tipo de resíduos:

- ✓ Aterros de resíduos sólidos urbanos;
- ✓ Aterros de resíduos perigosos;
- ✓ Aterro de resíduos singulares;
- ✓ Aterro de resíduos de outro tipo e matérias de construção.

Em função das características dos locais para a implantação, existem quatro métodos fundamentais de construção de aterro sanitário (Rushbrook & Pugh, 1999; Vega y de la Fuente, 2003):

1. Método de trincheira (figura 9a);
2. Método de área (figura 9b);
3. Método de células (figura 9c);
4. Método de encosta ou vale (figura 9d).

Método de trincheira: escava-se uma trincheira do tamanho desejado, dentro da qual se depositam os resíduos. O material escavado serve para o uso como material de cobertura. Trata-se de um método apropriado quando a profundidade do material de cobrimento é adequada e o nível freático não se encontra perto da superfície.

Método de área: utiliza-se quando o terreno é inapropriado para a escavação de células ou trincheiras. A preparação do local implica a utilização de um revestimento e dum controlo dos lixiviados. Os resíduos são depositados em camadas de maneira a formar terraços e os materiais das coberturas é trazido de zonas adjacentes. Este método apresenta como principal problema a grande quantidade de lixiviado que se forma e terá que ser controlada.

Método de células: consiste na disposição dos resíduos em áreas delimitadas por muros ou paredes pré-construídos, onde células diárias são colocadas normalmente no interior de outras maiores. O método é muito utilizado na atualidade, porque permite o enchimento progressivo com recuperação.

Método de encosta ou vale: é uma técnica para colocar e compactar resíduos segundo a geometria do local, as características do material de cobertura, a hidrologia e geologia do local, tipo de instalação para controlo de gases, lixiviados e o acesso. Para o desenvolvimento deste método o controlo da drenagem superficial é muitas vezes um fator crítico.

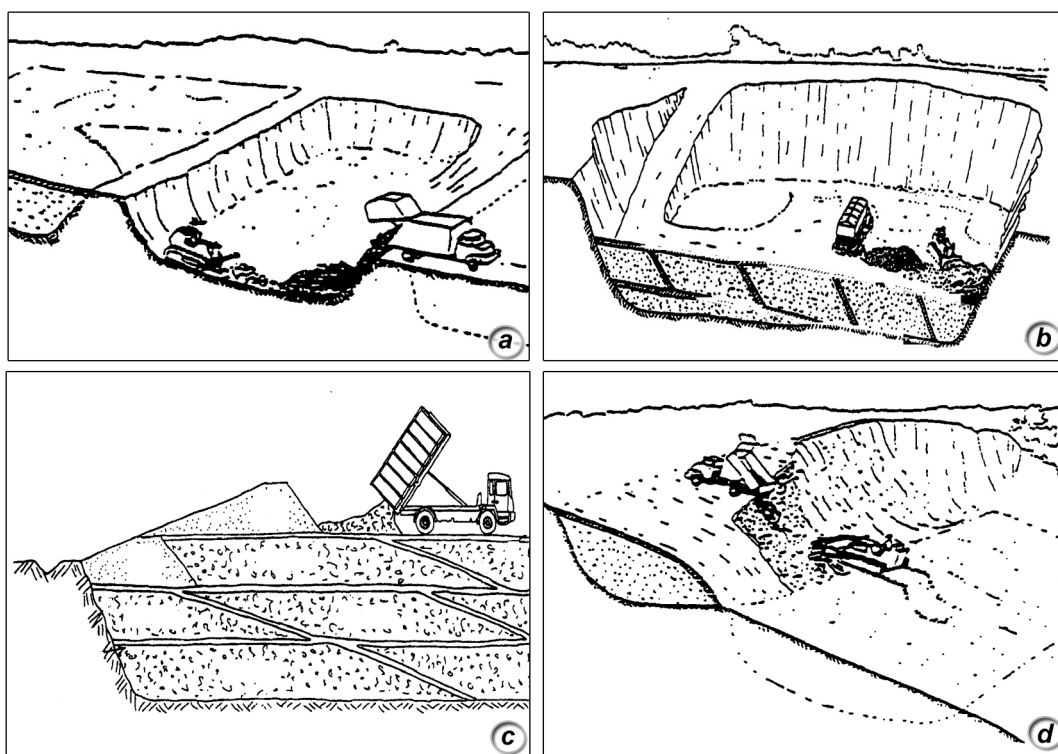


Figura 9 – Tipos de aterro sanitário, segundo Rushbrook & Pugh (1999): a) método de trincheira; b) método de área; c) método de células; d) método de encosta ou vale.

2.3.4 - Escolha de áreas para aterro sanitário

Tendo em conta que a avaliação das áreas onde devem estar situados os aterros sanitários se encontra inserida na primeira etapa do projeto, as decisões tomadas nesta etapa deverão satisfazer em grande parte as exigências operacionais, económicas e as consequências ambientais, em função das leis impostos nas próximas fases do aterro.

Neste sentido, as diversas etapas do ciclo de vida de um aterro sanitário dependem de um conjunto de características do local escolhido, de modo que cumpra os vários objetivos, entre os quais se destacam (Rushbrook & Pugh, 1999; Vega y de la Fuente, 2003):

- ✓ Minimizar a possibilidade de existência de impactos ambientais negativos nos meios físicos, biótico e antrópico;

- ✓ Minimizar os custos envolvidos;
- ✓ Minimizar a complexidade técnica para viabilização do aterro;
- ✓ Maximizar a aceitação pública, indo de encontro dos interesses da comunidade.

Além disso, devem ser considerados os seguintes fatores técnicos e económicos (Rushbrook & Pugh, 1999; Vega y de la Fuente, 2003):

- ✓ Distância de transporte do aterro sanitário às diversas zonas de recolha de resíduos; visa minimizar, tanto quanto possível, o custo adicional relacionado com o transporte dos resíduos;
- ✓ Capacidade do aterro sanitário; relaciona-se de uma forma direta com a área disponível;
- ✓ Vias de acesso; se não existirem vias de acesso, estas têm que ser criadas, com os custos inerentes essa criação;
- ✓ Topografia do terreno.

Os fatores ambientais e sanitários a considerar são (Rushbrook & Pugh, 1999; Vega y de la Fuente, 2003):

- ✓ Distância dos núcleos habitacionais;
- ✓ Geologia;
- ✓ Contaminação das águas superficiais e subterrâneas;
- ✓ Precipitação, evaporação e evapotranspiração;
- ✓ Vegetação e fauna;
- ✓ Riscos geológicos: inundações, instabilidade de taludes, sismicidade e erosão;
- ✓ Espaços naturais protegidos e património cultural.

2.3.5 - *Processo*

A seleção de locais para implantação de aterros sanitários envolve diversos atores (decisores, especialistas, comunidade), procedimentos e informações, cuja organização visa atingir certos objetivos pré-estabelecidos. Diversas abordagens são aplicáveis ao tema, entretanto um aspeto comum a todas elas é colocado em evidência: a realização do processo por etapas.

De acordo com (Frantzis, 1993), a abordagem do processo por etapas oferece a vantagem da redução da quantidade de dados a serem manuseados, restringindo desta maneira as avaliações detalhadas a um número relativamente menor de locais. Nesta abordagem, quatro etapas principais são identificadas num processo de seleção de áreas:

- (1) Preparação dos dados de estudo;
- (2) Identificação de áreas potenciais;
- (3) Avaliação de locais por triagem;
- (4) Avaliação comparativa entre locais potenciais.

2.4 - Sistemas de Informação Geográfica

2.4.1- Introdução

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são normalmente utilizados como um instrumento para perceber e monitorizar o território, e apresentam-se como uma ferramenta cada vez mais complexa. Esta necessidade de obter diversas informações da natureza, para garantir melhor perceção do território, fez com que se intensificasse a frequência das aplicações dos SIG, nos últimos anos. Logo, é muito comum utilização destas ferramentas para simular os possíveis cenários resultantes de determinadas decisões ao nível do planeamento e do ordenamento do território (Longley et al., 2005).

A tecnologia SIG distingue-se de outras tecnologias de informação, pela sua capacidade de integrar dados espaciais e atributos alfanuméricos, para além de permitir a sua visualização, através de mapas (Burke et al., 2001; Schuurman, 2004).

Os Sistemas de Informação Geográfica são programas destinados à aquisição, gestão, análise e apresentação de informação georreferenciada. Permitem organizar as informações em diferentes níveis temáticos, o que permite efetuar várias operações de análise lógica, estatística e matemática, apresentando os resultados numa carta ou numa tabela (Burke et al., 2001; Longley et al., 2005; Schuurman, 2004).

Este tipo de tecnologia foi utilizada no início para a monitorização e a gestão dos recursos naturais e o uso do solo, não sendo, portanto surpreendente o interesse crescente no desenvolvimento de abordagens de suporte à decisão baseada em SIG.

Nos últimos anos o conceito de Sistema de Informação Geográfica registou uma evolução, mas o seu objetivo não mudou. Ao observarmos as definições a seguir, nota-se que o contexto da definição foi mudado à medida que o uso deste sistema evolui abrangendo diferentes campos de investigação.

Segundo alguns autores dedicados em SIG, dos quais se destaca (Miranda, 2005) afirmam que aparecimento dos SIG aconteceu mesmo antes do aparecimento do computador e do consequente desenvolvimento de sistema computacional. Os SIGs evoluíram a partir de séculos de produção de mapas e da compilação de registos geográficos. Os romanos foram os primeiros a empregar o conceito de registo de propriedades, no *capitum registra* – registo da terra.

A evolução do conceito de SIG está diretamente relacionada com as diferentes áreas de investigação que contribuíram para o seu desenvolvimento, tais como a informática (que enfatiza a ferramenta base de dados ou linguagem de programação), geografia (que o relaciona com os mapas), e outros ainda enfatizam aplicação como suporte de decisão.

2.4.2 – Evolução histórica dos SIG – breve síntese

No período da década de 80 registou-se um interesse crescente na manipulação da informação geográfica por computador. Isto devido ao facto de informação geográfica estar relacionada a um sistema de referência de um dado local específico (localização espacial através de um sistema de coordenadas), o que resultou no processo de desenvolvimento e evolução do sistema que ficou conhecido por SIG. Enfatiza-se que o uso das informações de forma digital não representa facto novo, mas do esforço conjunto de uma outra tecnologia e áreas de aplicação. A tecnologia de SIG representa uma convergência entre diferentes disciplinas que tem a localização geográfica como seu objeto de estudo (Martin, 1996).

É difícil precisar a origem do termo SIG, bem como a possível data em que se iniciou a elaboração de trabalhos com recurso aos mesmos. Sabe-se que os SIG são um fenómeno relativamente recente, considerando-se o tempo de existência das disciplinas envolvidas. O desenvolvimento de SIG não se deu a partir de uma definição do objeto, mas por intermédio de um conjunto de interações. Ele correu a partir de uma combinação de conceitos, ideias, práticas, terminologia e discriminação trazidas por pessoas de formações diferentes.

Essas pessoas interagiram trocando informações nos anos iniciais de construção do SIG e, nesse contactos, normalmente ignoravam o que estava acontecendo noutros lugares, como universidades, instituições de investigação e mesmo em outros países. A essência dos SIG está na sua característica interdisciplinar, conquanto alguns dos estudiosos do desenvolvimento desta tecnologia tivessem pouco desenvolvimento, ou interesse, no manuseio de dados geográficos (Coppock & Rhind, 1991).

Durante muitos anos, os avanços na área dos SIG eram apresentados em conferências de organizações como a Automated Cartography (Auto Carto), a American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) e o American Congress on Surveying and Mapping (ACSM). O foco destes trabalhos era mais orientado a avanços técnicos específicos, como algoritmos para manipulação da informação geográfica e aplicações de projeto. Em meados de 90, emergiram novas organizações internacionais e series de conferências, nas quais o SIG era o foco primário, tais como a European Conferences on Geographic Information Systems –EGIS (Martin, 1996).

A tecnologia dos SIG é relativamente nova, mas é importante referir que as principais formações dos envolvidos eram a cartografia, geografia, deteção remota, engenharia, matemática e estatística. O surgimento da recente ciência da computação foi também um dos pilares do desenvolvimento dos SIG. E quanto aos principais objetivos e responsáveis pelo surgimento desta tecnologia, foram sem dúvida, o emergente interesse no manejo dos recursos naturais, planeamento urbano e regional, o cadastro e taxação de propriedades, a gestão dos serviços públicos (telefones, eletricidades, gás, etc.), táticas militares, entre o outros.

2.4.3 - Definições e controvérsias

As definições convergem para a questão: “O que são os SIG?” Os SIG são um sistema que trata informações geográficas. Nos SIG a realidade é representada em modelos como uma série de elementos geográficos definidos de acordo com dois atributos de dados. Os dados geográficos (dados espaciais) são usados para providenciar uma referência para os elementos alfanuméricos (dados não-espaciais).

As controvérsias surgiram dada a tendência de uma definição restrita, como aquela a que refere um sistema de informação para agrupar, editar, armazenar, integrar e analisar espacialmente dados georreferenciados. Esta definição restringia o campo de atuação dos SIG. Por outro lado, uma interpretação geral alargaria o campo de atuação e, consequentemente, número de disciplinas contribuintes. Tal definição deveria conter não apenas o campo de automação de cartografia, mas também pacotes de ferramentas de propósito geral, abordando áreas como a estatística, a tomada de decisão, as bases de dados e outros (Coppock & Rhind, 1991).

Para os SIG, os dados geográficos são vistos como mais importantes que os atributos, e este é um dos pontos-chave que diferenciam os SIG de outros sistemas de informação. Verifica-se por meio de várias investigações que além das dificuldades de definir os SIG, existe também a dificuldade de restringir seu campo de atuação, ou seja, as funções que deveria desenvolver. Não existem premissas teóricas aceites genericamente para a sua aplicação, embora o mundo comercial seja pródigo em oferecer SIG com múltiplas funcionalidades.

Dentro da especificidade dos SIG também aparece uma definição que procura atender uma dada disciplina, como “Sistema de Informação Geológica”. Que no ponto vista acadêmico, apesar de múltiplas definições é prejudicial, causando assim desentendimento acerca do que é um SIG realmente e quais são as suas capacidades e uso, mesmo não tendo dúvidas quanto ao seu potencial para muitas investigações.

Chrisman (1997), citado por Miranda (2005), apresenta uma definição de SIG que é consensual e aceite por muitos especialistas, procurando envolver tudo e todos que fazem parte do ambiente de um SIG: “*Sistema de Informação Geográfica é um sistema de computadores e periféricos, programas, dados, pessoas, organizações e instituições com o propósito de agrupar, armazenar, analisar e disseminar informações sobre áreas da terra*”. Esse consenso poderia não agradar porque engloba coisas óbvias, como o uso de pessoas, organização e instituições. Caso retiremos estes elementos da definição, ela se tornará igual à já conhecida definição restrita a um sistema de informatização que não combina com um SIG no seu significado real (Miranda, 2005).

Para outros autores dedicados aos SIG, a melhor definição seria um sistema computacional que agrupa, edita, integra e analisa informação relacionada a superfície da terra.

Esta preferência na classificação da definição dos SIG deve-se ao desenvolvimento de computadores a partir da década de 70, o que facilitou a aplicação da nova tecnologia aos problemas de armazenamento, manipulação e análise de grandes volumes de dados espaciais.

Depois de tantas as definições, relacionada com os SIG, chega-se a abordagem que parece ser a mais adequada: a importância dos SIG na realização de análise espacial, especificamente na análise e modelação do território, no âmbito da qual os SIG são vistos como uma ciência de informação espacial.

2.4.4 - Os SIG como disciplina e seu potencial

Geralmente a comunidade académica tem a tendência de associar todo o ambiente dos SIG como uma ciência de informação espacial. O facto é que alguns países possuem institutos académicos de SIG e outros países os cursos sobre os SIG fazem parte do currículo académico em muitas universidades (a título de exemplo em Portugal, Brasil, Angola e outros) tanto na licenciatura como em pós-graduação, e com a possibilidade de adquirir grau de mestre ou doutor especificamente em SIG.

Atualmente, os SIG tendem a ser cada vez mais usados para a modelação do que existe no mundo real, permitindo a resposta a muitas questões acerca das relações espaciais e fenómenos geográficos. Isto faz dos SIG muito mais do que um mero programa de computação para desenhar mapas. Sendo usado como um poderoso meio para modelar e analisar relações espaciais, os SIG também levantam questões quanto à natureza do mundo real, e força o analista a considerar quais serão as definições de realidade que ele deve adotar (Martin, 1996).

Os SIG então são caracterizados por uma diversidade de aplicações. Os SIG podem ser usados na geografia, geologia, agricultura, botânica, economia, detecção remota, ecologia, e outros ramos do saber. No entanto, nem tudo o que um SIG pode fazer nas áreas de modelação e análise espacial está delineado. Não se pode afirmar que, dos sistemas disponíveis, exista algum que sirva de exemplo de um sistema acabado. Há uma constante evolução dos sistemas, na implementação de novas funções de análise, novas ferramentas e novos algoritmos de análise.

Na atualidade os SIG tornaram-se numa ferramenta indispensável, dada a crescente preocupação com a preservação do ambiente, na tomada de decisão que envolva interações complexas entre diferentes recursos naturais e a sociedade. As inquietações tais como o processo de desertificação, a erosão (principalmente em solos agrícolas e florestais), a monitorização de espécies em extinção, os locais de ocorrência da poluição das águas superficiais ou subterrâneas, a evolução da contaminação dos aquíferos e solos, entre outros, podem ser alvo de análise em ambiente SIG. Para mapear e monitorizar tais mudanças, bem como planear respostas apropriadas são necessários estes programas, que possam capturar, armazenar e analisar as informações sobre os recursos naturais existentes, usando a tecnologia espacial disponível.

Os SIG na atualidade podem auxiliar na avaliação de impactos ambientais e fazer simulações de cenários alternativos. Estes sistemas são aplicados com sucesso na monitorização e na deteção de condições de mudanças em áreas urbanas ou rurais, previsão de potencial de uso de recursos naturais e solos, modelação da interação de várias componentes do ambiente terrestre para predição dos efeitos de mudanças, entre outros.

Os SIG também podem ser utilizados nas administrações públicas, para manutenção de cadastro de propriedades, gestão de terrenos agrícolas e localização dos aglomerados populacionais perante áreas de riscos naturais (como exemplo zonas com risco de inundação ou incêndios florestais).

2.5 - Gestão dos resíduos sólidos em Angola

2.5.1 - Enquadramento legal

O capítulo 21 da Agenda 21, aprovado na sessão plenária de 14 de Junho de 1992 da Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente e o Desenvolvimento (<http://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>), consagra que todos os países, para atingir um nível de desenvolvimento sustentado, devem priorizar a investigação e desenvolvimento, transferência tecnológica, educação aos seus cidadãos e investimento dos sectores públicos e privado e uma adequada gestão dos problemas causados pelos resíduos.

Portanto, a Diretiva 2008/98/CE, da União Europeia, de 19 de Novembro de 2008 (Diretiva - Quadro dos Resíduos), define as regras de gestão de resíduos, desde o processo de recolha, transporte, valorização e eliminação, incluindo a supervisão das mesmas operações e a manutenção dos locais de eliminação até após o encerramento.

Atendendo a estes preceituados, a política de Ambiente desenvolvida pelo Governo da República de Angola, está consubstanciada no Decreto-lei n.º 5/98, de 19 de Junho – Lei de Bases do Ambiente.

A Lei de Bases do Ambiente define os conceitos e os princípios básicos de proteção e conservação do Ambiente, promoção a qualidade de Vida e do uso racional dos Recursos naturais. De acordo com o Artigo 19º, o Governo deve fazer publicar e cumprir legislação de controlo da produção, emissão, depósito, importação e gestão de poluentes gasosos, líquidos e sólidos. Está também contemplada nesta Lei a Educação Ambiental (Artigo 20º). No seguimento da Lei de Bases do Ambiente, foi aprovada a Lei nº 6/02, de 21 de Junho – Lei das Águas, que estabelece os princípios gerais do regime jurídico inerente ao uso dos Recursos Hídricos. No Artigo 67º desta Lei estão descritas as atividades interditas, sendo interdito acumulação dos resíduos sólidos ou desperdícios de quaisquer substâncias em locais e condições que contaminem ou constitui perigo de contaminação das águas.

A política do ambiente tem por fim otimizar e garantir a continuidade de utilização dos recursos naturais, qualitativa e quantitativamente, como pressuposto básico de um desenvolvimento sustentável.

A Lei de Bases do Ambiente no Decreto n.º 5/98, de 19 de Junho, veio reforçar a proteção do ambiente uma vez que desenvolve as normas regulamentares de situações previstas na Lei de Base da Política do Ambiente, estabelecendo os princípios fundamentais destinados a gerir e a proteger o ambiente contra todas as formas de degradação, com o fim de valorizar os recursos naturais, lutar contra a poluição de diversa natureza e origem, melhorar as condições de vida das populações, no respeito pelo equilíbrio do meio ambiente. No capítulo IV desta lei está definida a política nacional na área dos resíduos sólidos urbanos, industriais e outros. Relativo à eliminação dos resíduos, esta lei estabelece o seguinte:

- Cada detentor de resíduos deve promover a sua recolha, tratamento, armazenagem, transporte e eliminação ou utilização de tal forma, que não prejudique o ambiente;
- As empresas são especialmente responsáveis para dar destino adequado aos seus resíduos industriais;
- O destino a dar pelas empresas aos resíduos industriais deve constar do processo de licenciamento;
- As unidades de saúde são responsáveis por dar destino adequado aos resíduos hospitalares;
- Compete ao governo:
 - Regulamentar as leis gerais nesta área;
 - Proceder aos investimentos relativos aos aterros sanitários e sistema de tratamento de RSU;
 - Estabelecer, tendo em conta a política nacional definida para o domínio, os planos e diretivas aprovados, as normas e regulamentos a que devam obedecer a construção, instalação e funcionamento das infraestruturas destinadas à remoção e tratamento de RSU.

Já nos últimos anos, as questões ligadas ao ambiente e à gestão dos RSU começam a ganhar mais destaque, com o projeto de Política Nacional de Saneamento em vias de ser aprovado, o qual estabelece os requisitos essenciais a considerar na eliminação de resíduos sólidos urbanos, tendo em vista a proteção do ambiente e da saúde pública. Os aspetos mais importantes deste projeto são:

- Os custos de eliminação dos resíduos são suportados pelo respetivo produtor;
- Os responsáveis pelo destino final a dar aos resíduos são os municípios (resíduos urbanos), as empresas (resíduos industriais) e as unidades de saúde (resíduos hospitalares);
- As operações de armazenagem, tratamento, valorização e eliminação de resíduos estão sujeitas a autorização prévia;

- Os resíduos hospitalares são objeto de tratamento apropriado, diferenciado em função das suas características próprias (a ser elaborado por portaria conjunta dos membros do Governo responsáveis pelas áreas do Ambiente e da Saúde);
- Os municípios, as empresas e as unidades de saúde, devem organizar e manter um inventário/registo dos resíduos que indique: a natureza e quantidade; origem e destino e operação efetuada.

Na ausência de uma legislação específica para a localização de aterro sanitário em Angola, neste estudo, pretende-se adaptar a legislação vigente na União Europeia, nomeadamente a Diretiva 99/31/CE de 26 de Abril, do Conselho Europeu, relativa a deposição de resíduos em aterros, a Decreto-Lei 183/2009 de 10 de Agosto – Diário da Republica de Portugal, às características da área de estudo.

Segundo a Diretiva 99/31/CE de 26 de Abril, as exigências técnicas a cumprir num aterro sanitário enquadram fundamentalmente:

- A Proteção das águas subterrâneas e superficiais;
- O controlo dos afluentes residuais – lixiviados;
- O controlo dos afluentes residuais gasosos – biogás;
- Controlo de deposição dos resíduos e exploração do aterro;
- Monitorização global do aterro e zonas envolventes.

O Decreto-Lei 183/2009 de 10 de Agosto, Diário da Republica de Portugal impõe que devem ser avaliados os seguintes requisitos de localização de um aterro, nomeadamente:

- A distância do perímetro do local relativamente às áreas residenciais e recreativas, cursos de águas, massas de água e outras zonas agrícolas e urbanas;
- A existência na zona de águas subterrâneas ou costeiras, ou áreas protegidas;
- As condições geológicas e hidrogeológicas do local e da zona envolvente;
- Os riscos de cheias, de aluimento, de desabamento de terra ou avalanches na zona;
- A proteção do património natural e cultural da zona.

2.5.2 - Caraterização da situação dos resíduos sólidos em Angola

2.5.2.1 - Breve enquadramento de Angola

Angola está situada na costa atlântico sul da África ocidental compreendida entre a Namíbia e o Congo a Sul e a Norte respetivamente. Faz ainda fronteira com a Republica Democrática do Congo (Zaire) e a Zâmbia a Oriente, e com o Oceano Atlântico a Oeste conforme ilustra a figura 10.

O país está dividido entre uma faixa costeira árida, que se estende desde a Namíbia até Luanda, um planalto interior húmido, uma savana seca no interior sul e sueste, e floresta tropical no norte particularmente em Cabinda.

O País está situado entre os paralelos 4° 00' a 24° 00' Sul e meridianos 12° 30' a 24° 00' Este. Possui uma área de 1246700 km², e uma população estimada em 19183590 habitantes (INE, 2012).

2.5.2.2 - Resíduos sólidos em Angola

O Ministério do Ambiente é o departamento governamental responsável, em termos de competências, pela regulamentação e gestão nacional dos resíduos. Contudo a gestão dos resíduos em Angola é efetuada de forma descentralizada, em que os governos provinciais, coordenando as administrações municipais, são responsáveis pela recolha, transporte e destino final dos RSU. Relativamente aos outros tipos de resíduos (hospitais e industriais) são os seus produtores os responsáveis pela recolha, transporte e destino final.

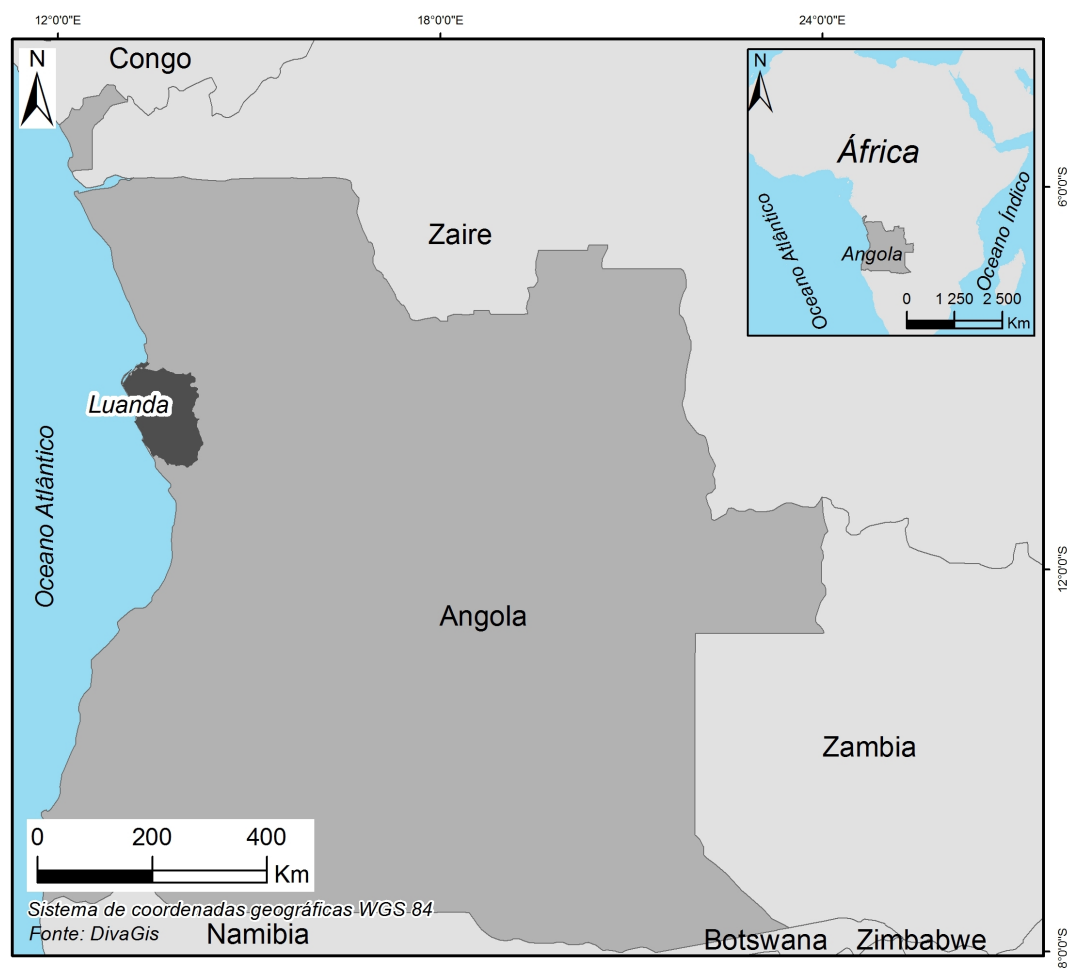


Figura 10: Enquadramento da província de Luanda no contexto angolano e africano.

A falta de infraestruturas de saneamento básico, a deficiente formação, aspetos culturais das populações e a falta de definição de normas ambientais controladoras da atuação das empresas comerciais e industriais, contribuem para a acumulação de resíduos sólidos e líquidos poluentes no solo, sobretudo em zonas suburbanas.

De acordo com o Plano estratégico para a Gestão de Resíduos Sólidos, em 2011, a quantidade de RSU produzido a nível nacional era de 3.817.090 toneladas/ano, equivalente a uma produção de resíduos de 600 gramas/habitantes/dia.

Nos principais centros urbanos do país, com exceção de Luanda, Benguela, Lobito, Huambo e Lubango, existe um sistema centralizado municipal de recolha de resíduos sólidos por camiões, a partir de contentores espalhados pela cidade, sem, contudo, serem depositados em verdadeiros aterros sanitários. O lixo recolhido é encaminhado para a lixeira municipal. Enquanto em Luanda o lixo é recolhido por uma empresa pública (*Empresa de Limpeza e Saneamento Básico de Luanda - Elisal*) e seus associados, e encaminhado para os locais de transferência para posteriormente ser levado para o aterro sanitário, o único do país.

Não há, ainda, em Angola uma prática de recolha seletiva generalizada para determinadas substâncias tóxicas ou perigosas, nomeadamente óleos usados, metais pesados, sucata, pneus, entre outros.

Para solucionar o problema de deposição do RSU, o plano estratégico para a gestão de Recursos urbanos (PESGRU), do Ministério do Ambiente, prevê a criação de aterros sanitários em todas as capitais das províncias até em 2020, motivo pelo qual se vê o presente trabalho como uma mais-valia, em todo o processo que se irá desenvolver até essa data.

3. Caso de estudo - Sede do Município de Viana

3.1 - Enquadramento geográfico

A área de estudo localiza-se na província de Luanda, no município de Viana com uma área de aproximadamente a 881 km². Este município foi fundado a 13 de Dezembro de 1963 e é constituído administrativamente em duas comunas⁶: Sede do Município de Viana e Calumbo. A área de estudo está delimitada precisamente pela comuna sede do Município de Viana, cobrindo uma extensão aproximada de 700 km². A comuna está compreendida entre os paralelos 8° 51' S e 9° 21' S, e entre os meridianos 13° 15'E e 13° 30'E. Faz fronteira com o município de Cacuaco a Norte, o município da Quiçama e a de Belas (Barra do Kuanza) a Sul, municípios de Icolo e Bengo e a comuna de Calumbo a Este, e os municípios de Luanda e Cazenga a Oeste, de acordo com a Lei n^a 29/11 de 1 de Setembro- Alteração da Divisão Politico Administrativo das Províncias de Luanda e Bengo (figura 11).

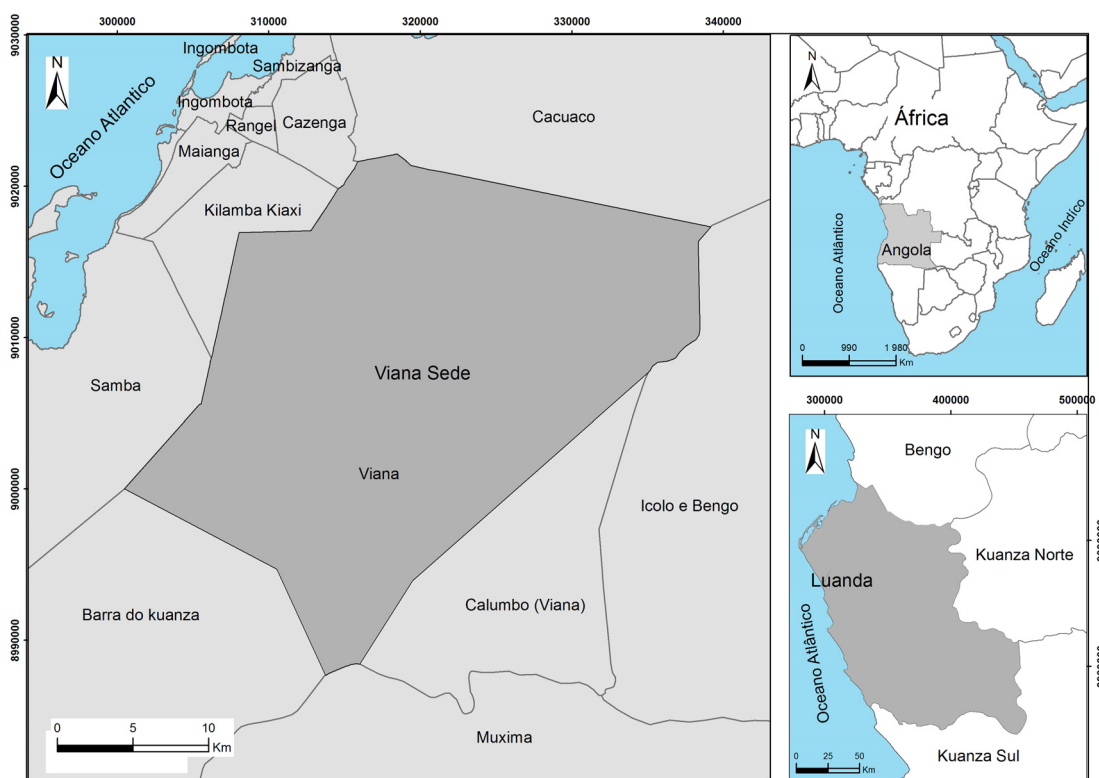


Figura 11: Localização da sede do Município de Viana

Em termos climáticos, A área é caracterizada pela existência de duas estações: a estação seca (ou cacimbo) e a estação chuvosa. O valor de precipitação média é de 360 – 380 mm/ano (figura 12), com temperaturas médias anuais entre 26-27°C e humidade relativa entre 80-82%, atribuindo em geral para a zona de estudo a classificação climática, segundo Thornthwaite, de tropical quente e seco (McKnight & Hess, 2000; Peel et al.,

⁶ De acordo com a nova divisão administrativa de Luanda e Bengo (Lei n^o 29/11 de 1 de Setembro).

2007). O solo é de textura arenosa média e fina, e em termos agrícolas é muito pobre em nutrientes minerais (Miguel et al., 2002). A vegetação é de porte médio a baixo, com as espécies mais significativas de imbondeiros (*Adansonia digitata*), cajueiros (*Anacardium occidentale*), e mangoeiras (*Mangoeira indica*) (Miguel et al., 2002).

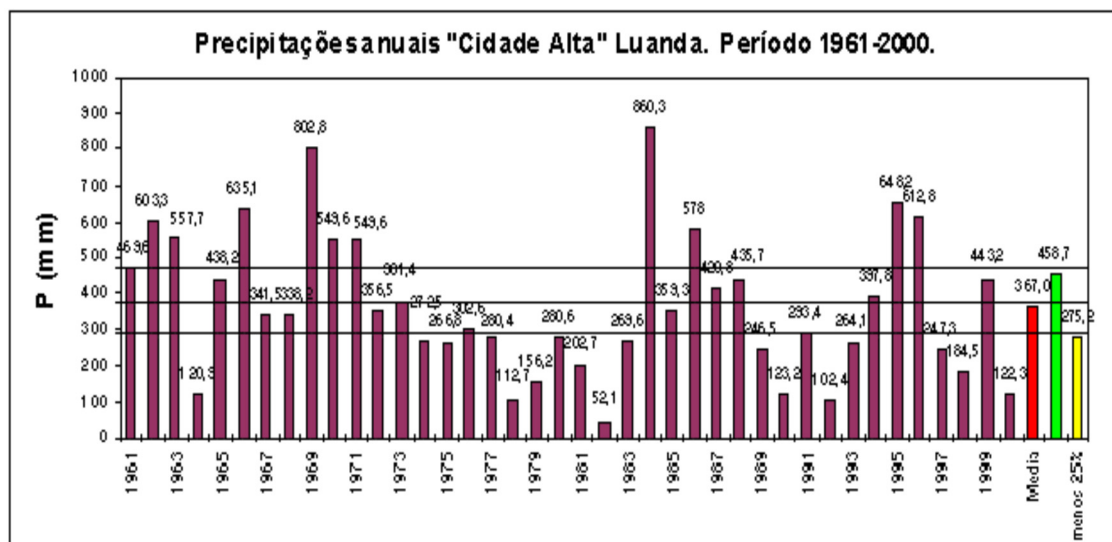


Figura 12: Histograma de precipitações anuais registradas na estação Termo pluviométrica “Cidade Alta” Luanda, no período 1961-2000.

Balanço hídrico

Uma vez que a área do Município de Viana se situa junto à capital Luanda, os registos utilizados para o estudo climático reportam-se à estação climatológica mais próxima, localizada precisamente nesta cidade. Os valores referem-se às normais climatológicas mais recentes, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia de Angola, em <http://www.inamet.gov.ao/>. A precipitação média mensal atinge um valor máximo em Abril (162,0 mm) e um valor mínimo em Junho, Julho e Agosto, meses em que não se regista precipitação. A temperatura média mensal regista um valor mínimo no mês de Agosto (21,35°C) e um valor máximo no mês de Março (27,4°C).

Na figura 13 e tabela 4 apresenta-se o balanço hidrológico sequencial mensal realizado através do método de *Thornthwaite & Mather*, considerando uma capacidade utilizável (capacidade de campo) de 150 mm, valor muito conservativo para uma parte das formações geológicas da área de estudo. No entanto, atendendo às diferenças entre as diferentes formações e suas características, optou-se por este valor mais conservativo. De acordo com este balanço, o défice hídrico estende-se de Maio a Outubro, sendo mais acentuado entre Junho e Setembro. A reposição de água no solo inicia-se em meados de Outubro, e estende-se até ao mês de Fevereiro. Entre este último mês e finais de Abril registam-se importantes excedentes hídricos, que podem atingir valores a ultrapassar os 120 mm. Admite-se, portanto, que uma parte importante da precipitação infiltrar-se, recarregando os aquíferos. Tomando-se o exemplo de Brito (2007), em formações

geológicas similares, podem considerar-se taxas de recarga que podem atingir os 25% da precipitação anual, o que corresponderia, neste caso, a cerca de 144 mm.

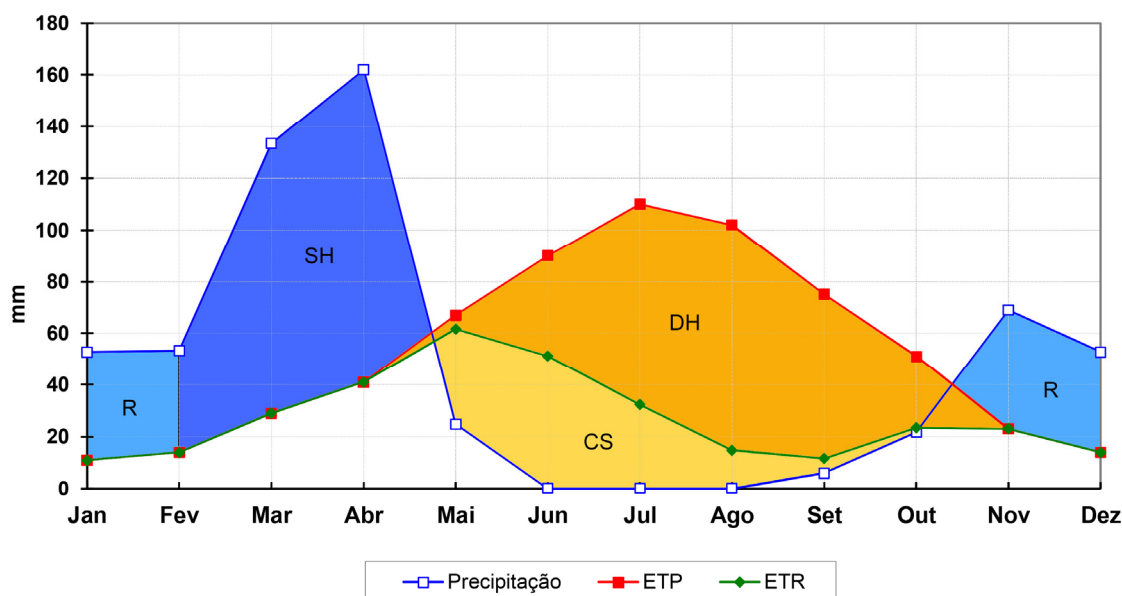


Figura 13: Balanço hidrológico sequencial mensal relativo à estação climatológica de Luanda.

(SH – Excedentes hídricos; DH – Déficit hídrico; CS - cedência de água pelo solo; R – Reposição de água no solo).

Tabela 4: Termos do balanço hídrico para a estação climatológica de Luanda.

Meses	T	P	ETP	P-ETP	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
	°C	mm	Thornthwaite, 1948	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	26,8	52,7	11,0	41,7	134,3	41,7	11,0	0,0	0,0
Fev	27,2	53,2	14,0	39,2	150,0	15,7	14,0	0,0	23,5
Mar	27,4	133,3	29,0	104,3	150,0	0,0	29,0	0,0	104,3
Abr	27,3	162,0	41,0	121,0	150,0	0,0	41,0	0,0	121,0
Mai	26,2	24,8	67,0	-42,2	113,2	-36,8	61,6	5,4	0,0
Jun	23,7	0,0	90,0	-90,0	62,1	-51,1	51,1	38,9	0,0
Jul	21,5	0,0	110,0	-110,0	29,8	-32,3	32,3	77,7	0,0
Ago	21,4	0,0	102,0	-102,0	15,1	-14,7	14,7	87,3	0,0
Set	23,2	6,0	75,0	-69,0	9,5	-5,6	11,6	63,4	0,0
Out	25,2	21,7	51,0	-29,3	7,9	-1,7	23,4	27,6	0,0
Nov	26,1	69,0	23,0	46,0	53,9	46,0	23,0	0,0	0,0
Dez	26,6	52,7	14,0	38,7	92,6	38,7	14,0	0,0	0,0
Total		575,4	627,0	-51,6	968,4	0,0	326,6	300,4	248,8
Média	25,2	48,0	52,3	-4,3	80,7		27,2	25,0	20,7

T - Temperatura; P - Precipitação; ETP - Evapotranspiração Potencial; ARM - Armazenamento, ALT - Alteração; ETR - Evapotranspiração Real; DEF - Déficit; EXC - Excedentes

3.2 – Enquadramento geológico

A área de estudo está localizada na bacia sedimentar do Rio Kwanza, está geneticamente relacionada com a abertura do Atlântico Sul, devido à fragmentação do supercontinente Gondwana, processo desenvolvido durante a era Cenozóica (A. G. De Araújo et al., 1988).

As unidades geológicas que afloram na zona estão representadas pelo Quaternário indiferenciado, formações do Quifangondo, Quelo e Cacuaco conforme ilustra a figura 14, sendo dominantes as seguintes litologias:

- Quaternário indiferenciado: são compostas essencialmente por areias e argilas, essencialmente de origem aluvionar;
- Formação Quelo ou Musseque: de idade Pliocénica, é composta por areias finas e médias, com matriz silto-argilosa (vermelha ou alaranjadas) e laterites;
- Formação Cacucaco: do Miocénico médio, é composta por argilas, margas, calcários e grés;
- Formação Quifangondo: do Oligocénico, é composta por argilas, calcários, dolomites, areias, margas e conglomerados.

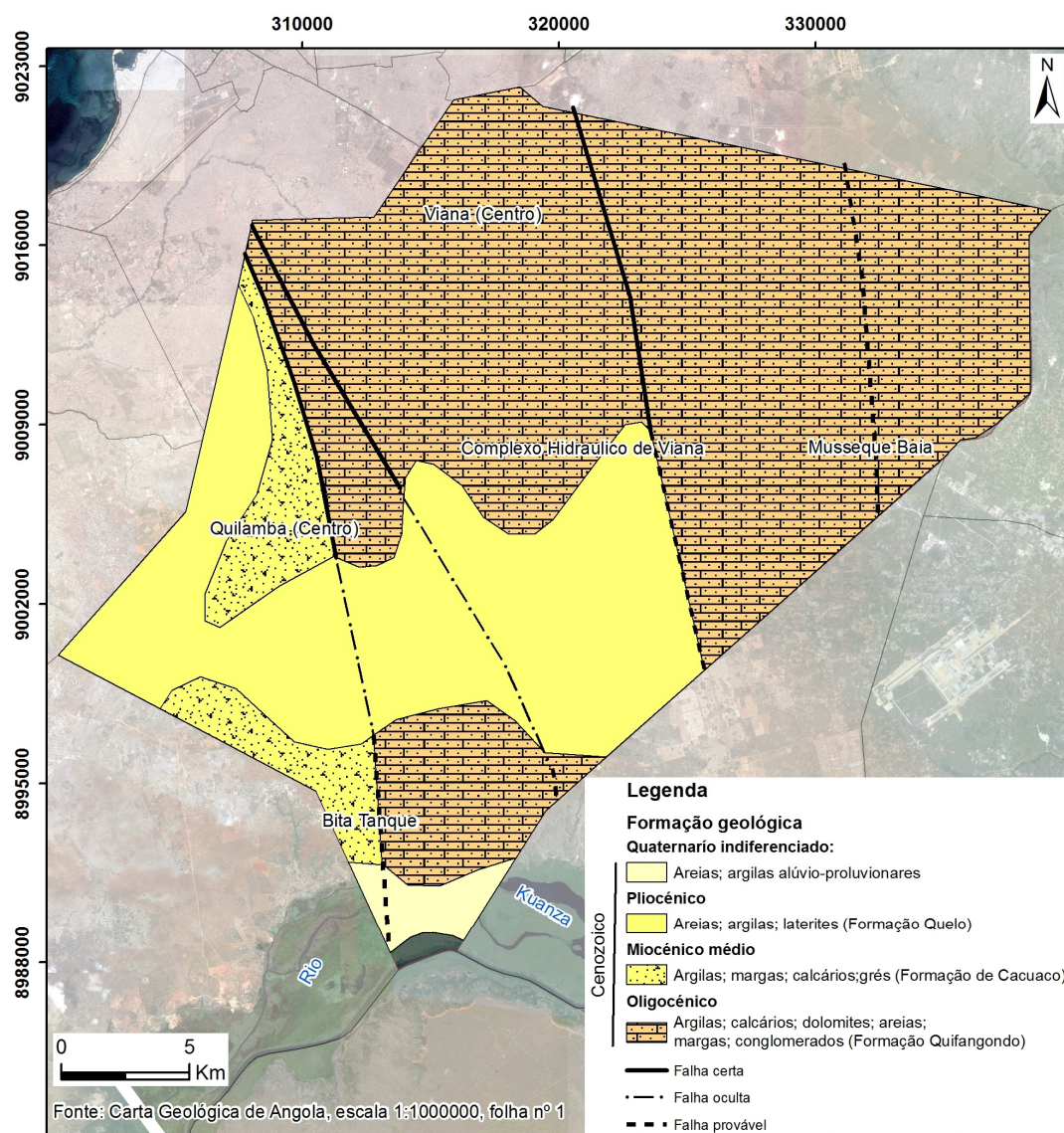


Figura 14: Carta geológica da comuna sede do município de Viana, adaptada de A. G. De Araújo et al. (1988).

A tectónica é pouco marcante, manifestando-se por dobras de raio de curvatura ampla e falhas normais com rejeitos de pequena magnitude (alguns metros a umas poucas dezenas de metros, como máximo). As direcções preferenciais são N350° NW-SE e N70° NE-SW. Os estratos estão algumas vezes inclinados, mas frequentemente dispõem-se sub-horizontalmente (A. G. De Araújo et al., 1988).

A topografia da área de estudo é pouco acidentada, com altitudes a variar entre os 0 e cerca de 160 metros. Os declives são, em geral, baixos, com exceção da área mais a Sul, onde se registam, em algumas vertentes, declives superiores a 30°, conforme ilustra a figura 15.

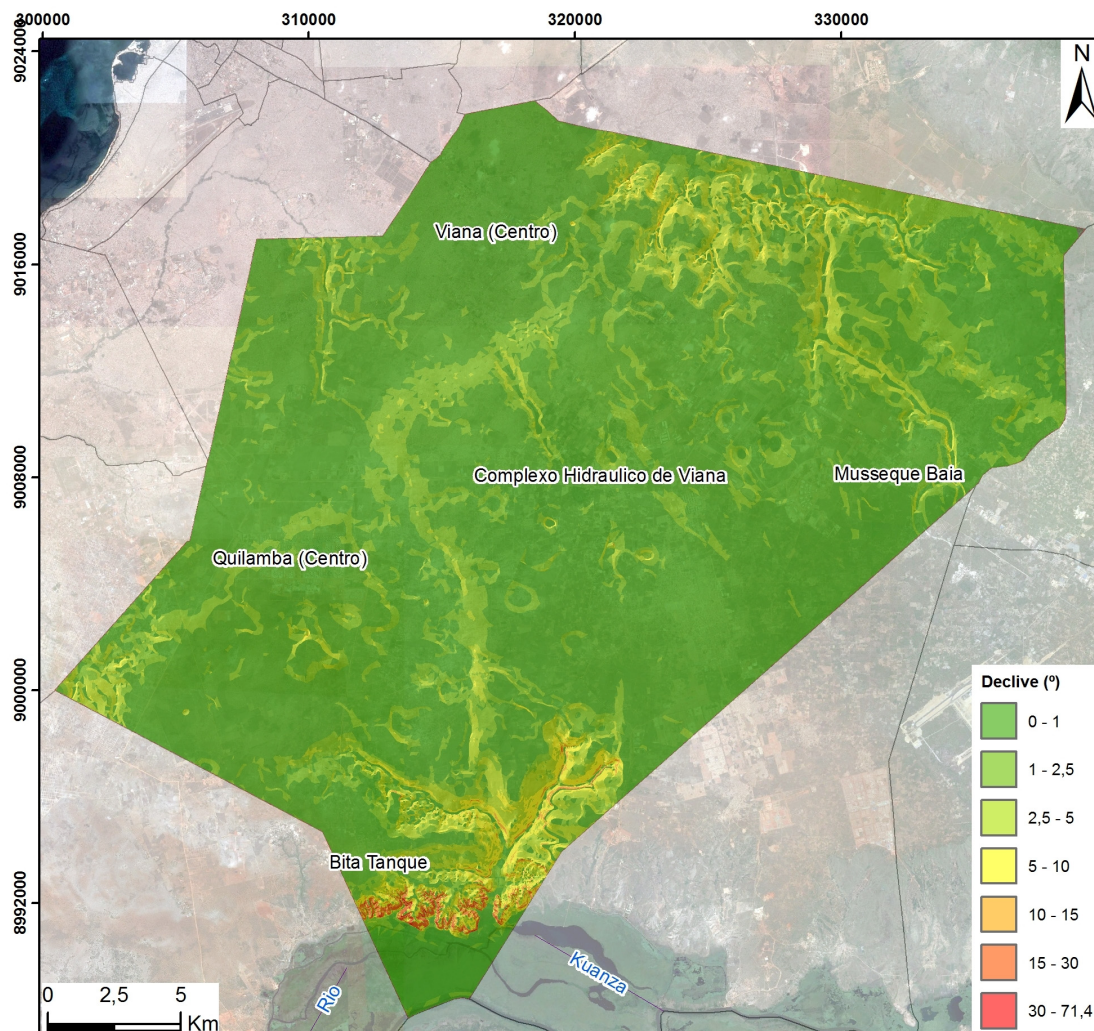


Figura 15: Mapa de declives da comuna sede do município de Viana.

As altitudes na comuna de Viana são bastante baixas, raramente ultrapassando os 150 metros de altitude. Apenas na área a leste, junto a Musseque Baia, as altitudes ultrapassam esse valor (figura 16). Grande parte da área apresenta-se como uma superfície aplanada, descendo, de uma forma geral, em direção a NW. Esta continuidade apenas é interrompida por alguns vales bastantes encaixados. A Norte, o junto a Musseque Baia, e a Sul junto a Bitá Tanque. Há ainda a realçar a presença, no limite Sul da comuna, do importante elemento morfológico que é o vale do Rio Kuanza.

As unidades litostratigráficas que constituem tanto o sistema aquífero Quelo-Cacuaco como o substrato menos permeável (Quifangondo) têm as evidências observadas durante o inventário de pontos de água realizado na campanha 2001-2002 por Miguel et al., (2002), que atribui valores de densidade e distribuição das referidas captações em

1/14 km². A profundidade média dos níveis piezométricos será de cerca de 60 metros, o paralelismo existente entre a superfície freática e a topográfica é acentuado, e os caudais médios de extração rondam 2,8 l/s. A espessura desta unidade é de centenas de metros, e é constituída por materiais detríticos com permeabilidade de 1-3 m/dia, em particular nos sectores basais do mesmo (figura 17). Estes valores contrastam com a impermeabilidade da Formação Quifangondo (Burdigaliano) sobre a qual repousa o sistema aquífero em questão (Quelo-Cacuaco). Segundo o modelo de funcionamento do sistema aquífero, Miguel et al. (2002) sugere que a descarga natural do sistema hidrogeológico é feita para o mar e por meio das estações por bombagem na região. Este facto é reforçado por não existir ligação hidráulica entre o referido sistema e o maior rio da região. Do balanço hídrico estima-se que o sistema de recarga por meio de infiltração da água de chuva é moderado e irregular (Miguel et al., 2002).

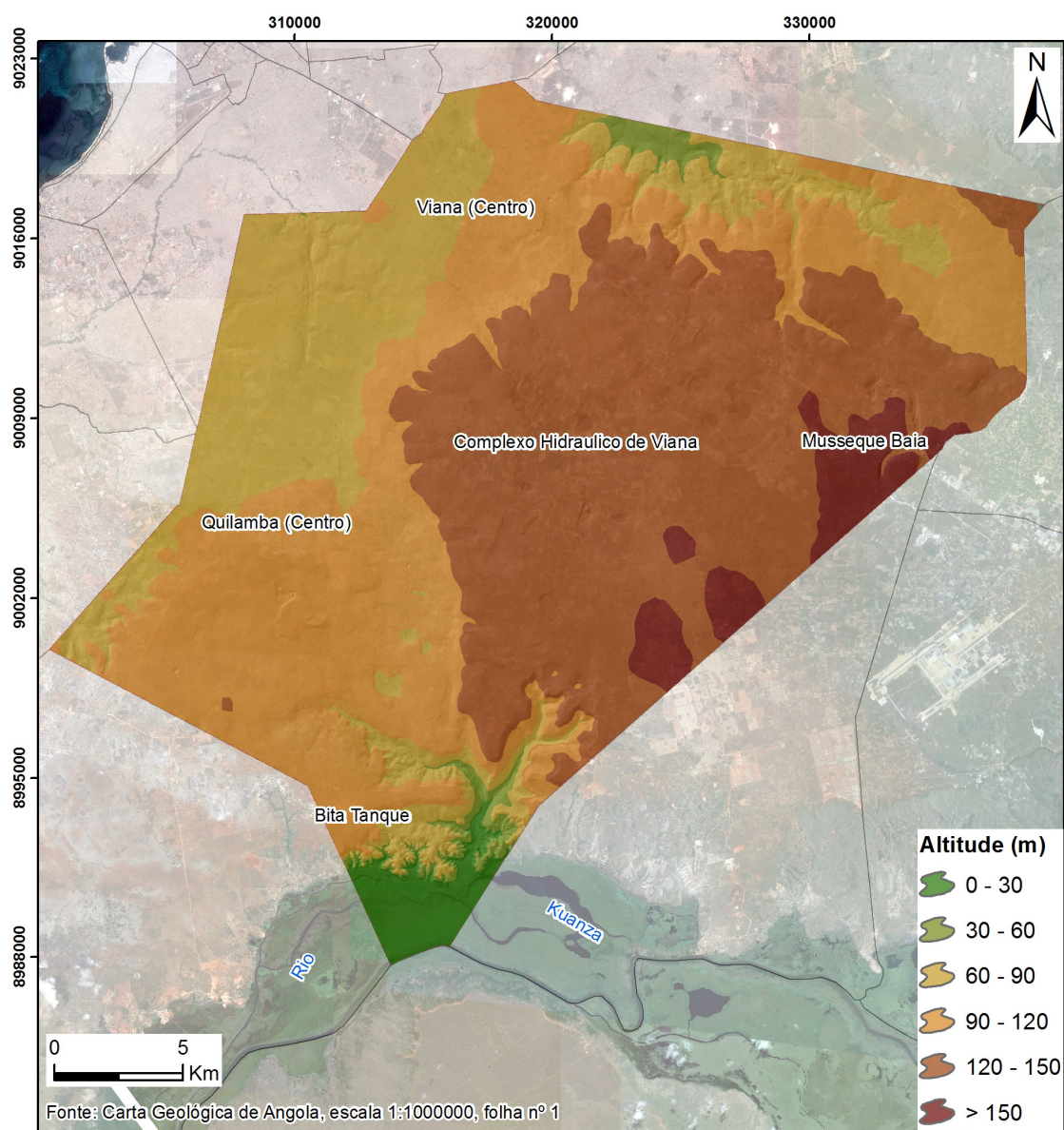


Figura 16 – Mapa hipsométrico da comuna sede do município de Viana.

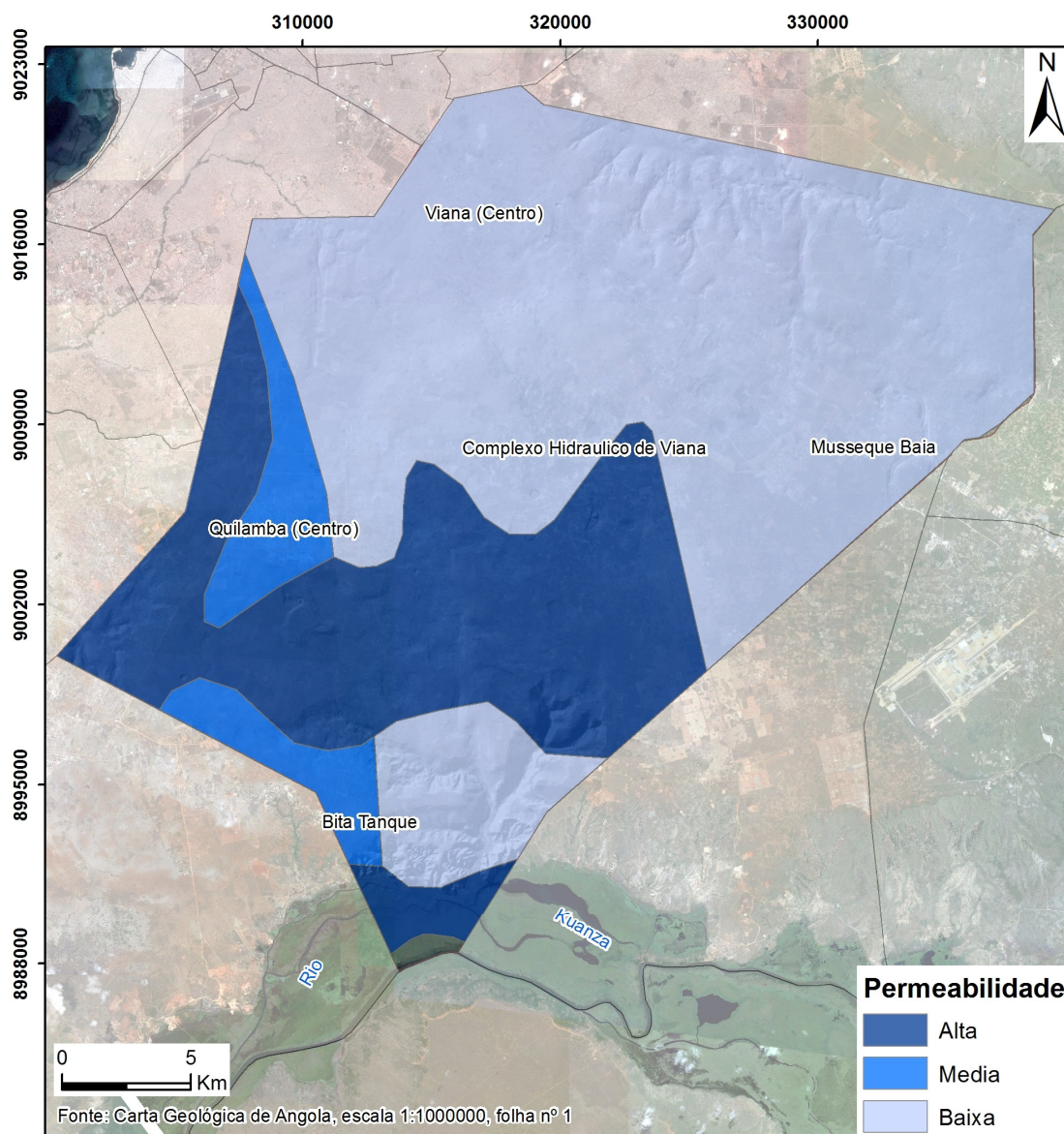


Figura 17: Classes de permeabilidade das formações geológicas da sede do município de Viana (Adaptado de Miguel et al., 2002).

3.3- Caracterização demográfica da população residente

Evolução da população

O crescimento demográfico depende, da diferença entre o número de nascimentos e o número de óbitos (saldo natural) e da entrada e saída de indivíduos numa região (saldo migratório).

As tabelas 5 e 6 apresentam a população total e variação da população em Angola, Província de Luanda, Município de Viana e Comuna de Viana (Sede). A análise das tabelas permite fazer uma ligação da evolução demográfica no município de Viana a alguns aspetos de caráter social, político e económico:

- a) A variação de 84,5% registada no período de (2000 – 2005) deve-se ao conflito armado que assolou o País, no qual a população em busca de segurança e

sobrevivência, emigrou para Luanda, e na sua maioria para o município de Viana por ser este o município com maiores potencialidades na área agroindustrial. Na época era este o sector que mais absorvia a população deslocada de guerra, gerando emprego para as pessoas com nível de qualificação mais baixo. Foi também neste município onde foi feito o processo de reintegração social dos ex-militares e desmobilizados de guerra depois do acordo de paz a 4 de Abril de 2002.

- b) A variação de 339,4% registada em (2005 – 2010) surge na sequência do processo de reintegração social dos ex-militares e desmobilizados de guerra, da criação de programa especial de realojamento e construções de habitações económicas no município de Viana, e das transferências das populações que viviam em áreas de risco nos distritos urbanos da Samba, Maianga e Ingombotas. Posteriormente, este processo deu origem à criação de um gabinete técnico para realojamento na província de Luanda (decreto lei nº 17/07 de 13 de Abril) com as competências de requalificação das zonas extremamente degradadas nos municípios do Cazenga, distritos urbano do Rangel e Sambizanga, o que provocou uma transferência e realojamento massivos da população dessas áreas para município de Viana.
- c) A variação de 590,6%, registada entre 2010 e 2012 deve-se ao seguinte aspeto: a sequência do processo de transferência e realojamento das zonas em requalificação para o município de Viana, a entrada em funcionamento da zona económica especial (ZEE) em 2011, situada em Viana, dando origem à criação da sociedade de desenvolvimento da zona económica especial (decreto lei nº 49/11 de 31 de Maio), um espaço destinado de desenvolvimento da produção e criação de emprego, o qual atraiu milhares de habitantes residentes em diferentes zonas de Luanda para o município de Viana. Estas populações fixaram residência no Município de Viana, sendo uma das exigências durante o processo de candidatura para o emprego na ZEE, que conta com mais de 73 unidades industriais em funcionamento (figura 18).



Figura 18 – Aspectos diversos da Comuna de Viana: a) ZEE durante a construção; b) ZEE na actualidade; c) bairro de Quilamba; d) aspetos da construção vertical e horizontal do projeto Zango 1.

(fotos de: www.cenor.pt; www.sondotecnica.com.br; www.portaldeangola.com; <http://wikimapia.org>).

Face a esta situação, a população de Luanda, no geral, é extremamente jovem, em que 47,8 % tem menos de 15 anos. Em contrapartida, o peso da população idosa, isto é, 65 ou mais anos, correspondem a 2 % do total da população. A idade mediana da população é de 19 anos.

Tabela 5: Evolução da população da Sede do Município de Viana (2000 – 2012).

	Evolução da população no período de 12 Anos			
	2000	2005	2010	2012
Angola	12.287.049	14.948.178	17.429.636	19.183.590
Luanda	2.276.000	3.644.000	5.448.000	6.000.000
Município de Viana	37.000	68.270	300.000	2.071.850
Comuna de Viana (Sede)	36.000	66.250	295.430	1.895.180

Fonte: INE, 2013

Tabela 6: A variação da população em percentagem

	Variação da população em (%)		
	2000-2005	2005-2010	2010-2012
Angola	21,66	16,6	10,06
Luanda	60,10	49,51	10,13
Município de Viana	84,51	339,43	590,6
Comuna de Viana (Sede)	84,03	345,93	541,50

Nas figuras seguintes apresentam-se, a título exemplificativo, diversos aspetos evolutivos da comuna de Viana em termos construtivos.

Na figura 19 apresentam-se diversos aspetos da área onde atualmente está implantada a ZEE de Viana, nomeadamente antes da sua construção (Julho de 2002) e durante a sua construção (Maio de 2008) e depois da sua construção (Junho de 2012).

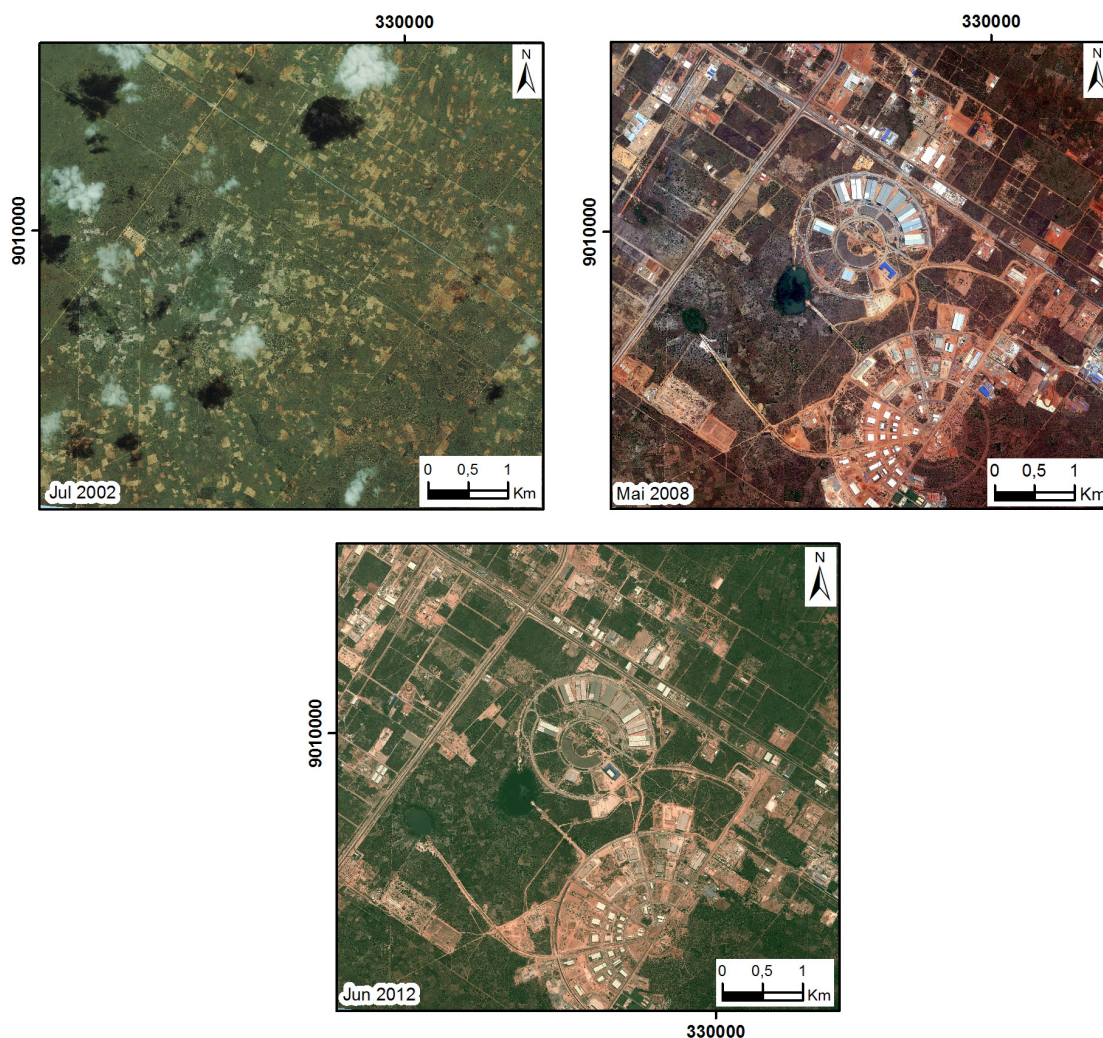


Figura 19 – Aspetos da área onde atualmente está implantada a ZEE de Viana, entre 2002 e 2012 (fonte: Google Earth).

Na figura 20 apresentam-se também diversos aspetos da área habitacional de Viana Norte, entre Julho de 2003 e Janeiro de 2012, onde se verifica o forte crescimento populacional anteriormente referido.

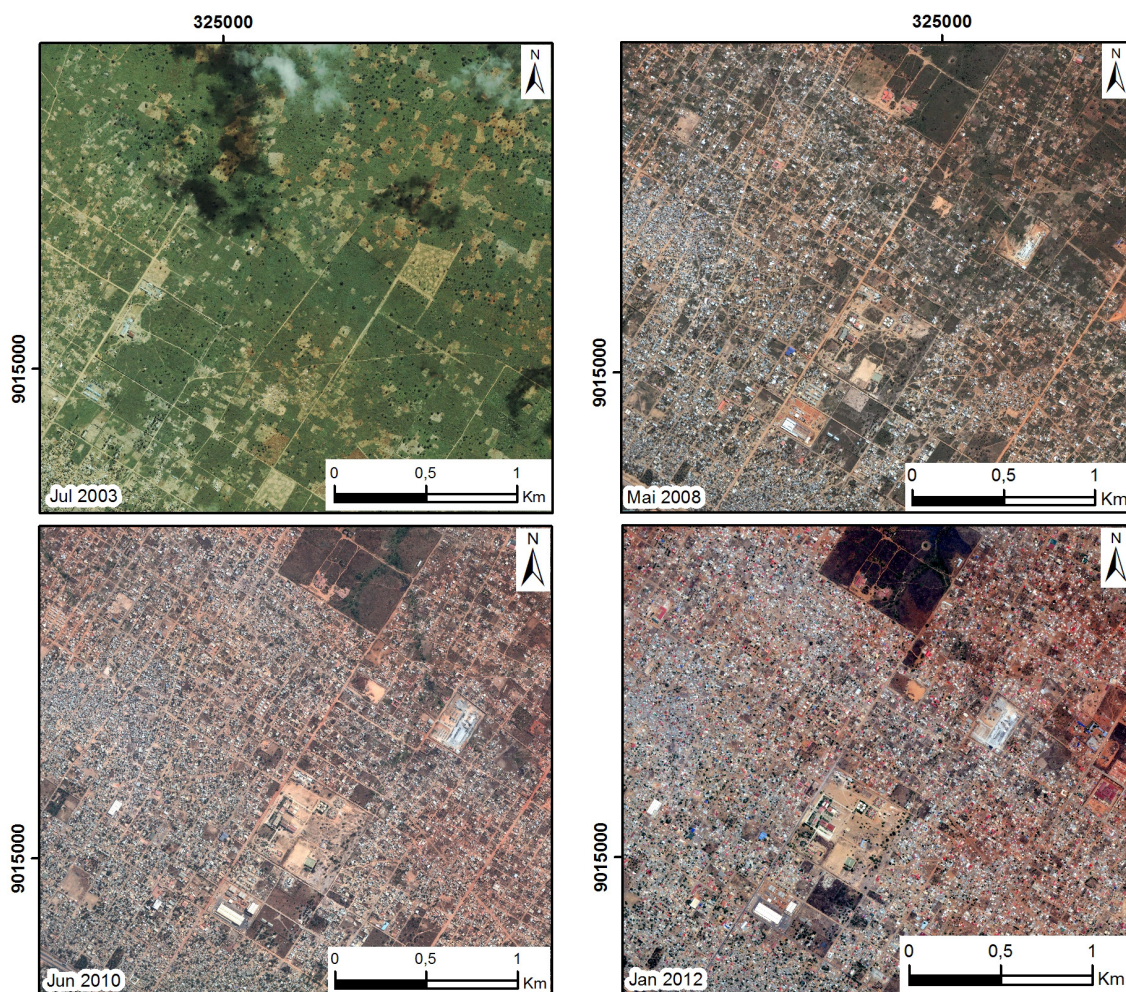


Figura 20 - Aspectos da área habitacional de Viana Norte (fonte: Google Earth).

À semelhança das anteriores, na figura 21 apresentam-se também diversos aspetos da área habitacional de Viana Sul, entre Junho de 2002 e Janeiro de 2012, onde se pode verificar de uma forma mais detalhada a evolução desta área habitacional ao longo destes 10 anos.

3.4 - Identificação das áreas com aptidão para localizar o aterro sanitário a partir da combinação de Análise multicritério e Analytic Hierarchy Process em ambiente SIG.

3.4.1- Cartografia e dados utilizados

Os dados gráficos e alfanuméricos utilizados no presente trabalho (tabela 7) resultam de uma extensa revisão bibliográfica junto das diversas instituições públicas de Angola. As informações cartográficas em formato raster (“*tiff*”) foram adquiridas ao Instituto Geográfico Cadastral de Angola e Instituto Geológico de Angola. As informações cartográficas em formato vetorial (“*shapefile*”) foram extraídas a partir da base *Diva-Gis free*, e correspondem essencialmente aos limites administrativos. Foram ainda utilizadas imagens de satélite (disponíveis na base *Google Earth* e *ArcGis Basemap*)

para atualização de algumas áreas urbanas e rede viária correspondente a área de estudo. Houve necessidade de preparar as informações no formato *raster* para posteriormente as integrar em ambiente SIG, pelo *software* ArcGIS 10.1 da ESRI. Para as informações em formato vetorial foi definida uma escala e sistema de coordenadas com o *datum* Camacupa, projeção Mercator Transversal (U.T.M.), elipsoide Clarke 1880. As informações referentes a altimetria foram vetorizadas a partir da carta topográfica à escala 1:25000, com curvas de nível de 5 em 5 metros e cotas referidas ao nível médio das águas do mar conforme dados do marégrafo de Luanda.

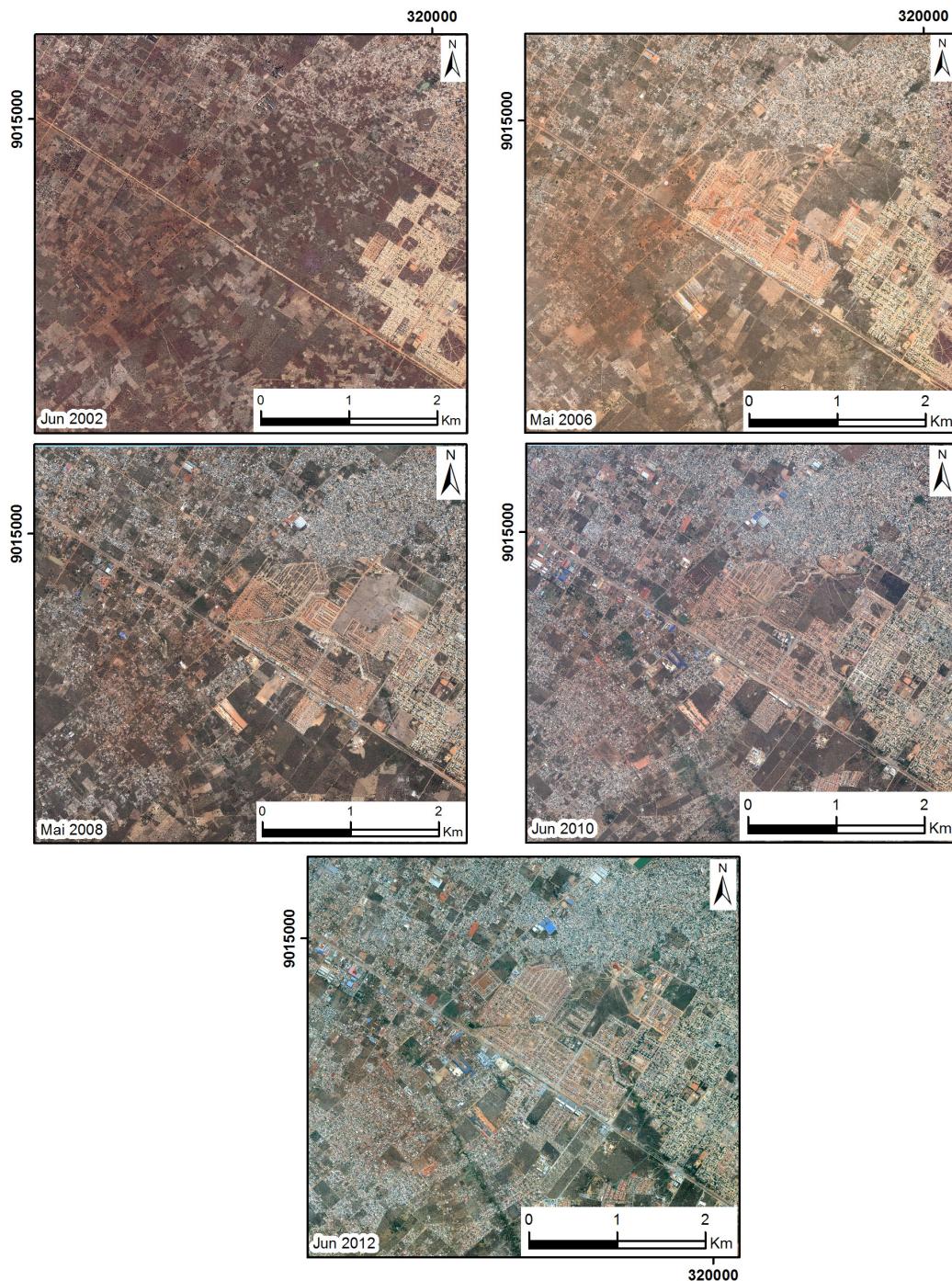


Figura 21 - Aspetos da área habitacional de Viana Sul (fonte: Google Earth).

Tabela 7: Caracterização técnica das informações utilizadas no estudo.

Informação	Formato inicial	Tipo de dados	Sistema de coordenadas
Cartas topográficas 1:25000: Folhas 89-C-3; 89-C- 4; 89-D-1, 89-D-2, 89-D-3, 89-D- 4; 90-C-3; 107-A-2; 107-B-1 e 107-B- 2.	Tiff	Raster	Sem projeção inicial (georreferenciados posteriormente no sistema Camacupa-1880-UTM zona 33 Sul)
Carta geológica 1:1000000: folha nº1	Tiff	Raster	Sem projeção inicial (georreferenciados posteriormente no sistema Camacupa-1880-UTM zona 33 Sul)
Limites administrativos	Shapefile	Vetorial poligonal	Camacupa-1880-UTM zona 33 Sul

Das cartas topográficas à escala 1:25000, com as informações baseadas no levantamento estereo-fotogramétrico do ano de 1998 (as cartas apenas foram editadas e publicadas em 2001), foram extraídas as informações de base tais como de altimetria, corpos de água, rede viária, áreas agrícolas, uso e ocupação do solo. Sempre que tal se revelou necessário, as informações foram atualizadas com recurso a imagens de satélite mais recentes. Da cartografia geológica à escala 1:1000000 foram extraídas as informações relacionadas com as formações geológicas, estrutura e permeabilidade.

3.4.2- Determinação dos pesos

A ponderação dos critérios e subcritérios em análise tem uma grande influência sobre o resultado que se pretende. Para tal, a determinação dos pesos dos critérios utilizados neste estudo, foi o método de AHP, proposto por Thomas L. Saaty (1980). Esta metodologia consiste em dividir o problema em níveis hierárquicos de tomadas de decisão (ver figura 5).

Após a hierarquização do problema, em cada nível, os critérios que condicionam a tomada de decisão são comparadas dois a dois, numa matriz de decisão quadrada, alicerçada numa escala de importância de nove níveis numéricos (ver tabela 2).

O processo AHP é concluído pela determinação da importância relativa a cada critério, subcritério e pela validação da consistência destas operações. Se o índice de consistência for inferior a 10%, significa que existe uma coerência na comparação par em par (Saaty, 1980).

Os valores atribuídos na comparação par-em-par dos critérios e subcritérios foram realizados com base na revisão da literatura internacional, referente à localização de áreas para implantação de aterros sanitários, conforme se fez referência nos capítulos anteriores.

De acordo com o método AHP, inicialmente calculou-se o peso dos critérios de análise de 2º nível. Neste nível, a hidrogeologia recebeu maior importância (38,73%), seguido

da rede viária com (27,48%), enquanto o uso do solo e a morfologia receberam uma importância relativa de 19,81% e 13,97%, respectivamente (tabela 8).

Tabela 8: Matriz de comparação par-a-par dos critérios do 2º Nível.

Critério	Hidrogeologia	Uso do solo	Rede viária	Morfologia	Peso (%)
Hidrogeologia	1	2	2	2	38,73
Uso do solo	1/2	1	1/2	2	19,81
Rede viária	1/2	2	1	2	27,48
Morfologia	1/2	1/2	1/2	1	13,97
Total					100

$\lambda_{\max} = 4,12$; **IC** = 0,04; **RC** = 0,05.

Onde λ_{\max} é a medida de consistência ($\lambda_{\max} \geq n$), e **n** ordem da matriz quadrada;

IC – índice de consistência; **RC** – Razão de consistência ($RC \leq 0,10$).

A ponderação dos critérios de análise do 3º nível ou subcritérios seguiu os mesmos procedimentos.

Nos critérios de análise do 3º nível (subcritérios da hidrogeologia), as falhas geológicas e unidades geológicas receberam a maior importância com 32,90% cada, enquanto as linhas de água e corpos de água receberam uma importância relativa de 20,02% e 14,18% respectivamente (tabela 9).

Tabela 9: Matriz de comparação par-a-par dos subcritérios de Hidrogeologia.

Hidrogeologia	Falhas geológicas	Linhas de água	Unidades geológicas	Corpos de água	Peso (%)
Falhas geológicas	1	2	1	2	32,90
Linhas de água	1/2	1	1/2	2	20,02
Unidades geológicas	1	2	1	2	32,90
Corpos de água	1/2	1/2	1/2	1	14,18
Total					100

$\lambda_{\max} = 4,06$; **IC** = 0,02; **RC** = 0,02.

Nos subcritérios do uso do solo, as zonas de indústria e comércio receberam maior peso (49,04%), enquanto o tecido urbano e áreas agrícolas receberam peso relativo de 31,19% e 19,76% respectivamente (tabela 10).

Tabela 10: Matriz de comparação par-a-par dos subcritérios de Uso do solo.

Uso do solo	Tecido urbano	Áreas agrícolas	Zona de indústria e comércio	Peso (%)
Tecido urbano	1	2	1/2	31,19
Áreas agrícolas	1/2	1	1/2	19,76
Zona de indústria e comércio	2	2	1	49,05
Total				100

$\lambda_{\max} = 3,05$; **IC** = 0,027; **RC** = 0,050.

Nos critérios de análise do 4º nível (subcritérios das unidades geológicas) calcularam-se as seguintes ponderações: unidade base 72,35%, unidade intermedia 19,31% e unidade recente 8,33% (tabela 11).

Tabela 11: Matriz de comparação par-a-par das unidades geológicas

Unidade geológica	Unidade Recente	Unidade Intermedia	Unidade Base	Peso (%)
Unidade Recente	1	1/3	1/7	8,33
Unidade Intermedia	3	1	1/5	19,32
Unidade Base	7	5	1	72,35
Total				100

$\lambda_{\max} = 3,07$; $IC = 0,033$; $RC = 0,049$.

3.4.3 - Análise multicritério da área de estudo

A análise multicritério é realizada através de três etapas essenciais:

- A seleção dos parâmetros relevantes ou considerados;
- A normalização das unidades dos parâmetros;
- A ponderação dos parâmetros, onde a cada critério é atribuído um peso que expressa a importância de cada parâmetro em relação aos outros.

A localização do aterro sanitário depende das restrições legais e das condições naturais de uma dada área, porque há necessidade de avaliar vários critérios de análise de decisão. Deste modo, a avaliação do qual é submetida as condições naturais na localização de aterro, depende também de alguns fatores tais como:

- A dimensão da região e do universo populacional a servir;
- Dos dados de base na perspetiva de evolução;
- Da aptidão dos terrenos possíveis de serem utilizados e das medidas de mitigação a implementar.

Para identificar as áreas com melhor aptidão para a implantação de aterro sanitário, na Sede do Município de Viana, foram analisados onze critérios, divididos em quatro categorias: hidrogeologia, uso do solo, rede viária e morfologia (tabela 12). Estes foram selecionados com base a literatura internacional (ver tópico relativo ao estado da arte) e na legislação Europeia, nomeadamente a diretiva 2008/98/CE e na legislação Angolana (Lei de Bases do Ambiente).

Tabela 12: Critérios utilizados no estudo.

Critérios	Peso (%)	Subcritérios	Peso (%)	Atributos espacial	Peso (%)
Hidrogeologia	38,73	Falha geológica	32,90	Distancia a falhas geológicas	
		Linhas de água	20,02	Distancia a linhas de água	
		Unidades geológicas	32,9	Unidade recente	8,33
				Unidade intermedia	19,32
				Unidade base	72,35
Uso do solo	19,81	Corpos de água	14,18	Distancia a corpos de água	
		Áreas agrícolas	19,76	Distancia a áreas agrícolas	
		Tecido urbano	31,19	Distancia a tecido urbano	
		Zonas comerciais e industriais	49,05	Distancias a zonas comerciais e industriais	
Rede viária	27,48	Vias principais	-	Distancias a vias principais	-
Morfologia	13,97	Declive	-	Grau de declive	-

3.4.3.1- Hidrogeologia

Para determinar a aptidão da hidrogeologia utilizou-se os seguintes parâmetros: unidades geológicas, corpos de água, linhas de água e falhas geológicas.

a) Falhas geológicas

Nas zonas onde se verificou a presença de falhas geológicas (certas, prováveis ou ocultas pela deposição de sedimentos recentes), a localização do aterro sanitário é interdita numa faixa de 200 metros. Por este motivo criou-se uma área envolvente de 200 metros considerada inadequada para a localização. A essa área interior atribui-se o valor zero (tabela 13). À medida que aumenta a distância da zona tampão aumenta o também o valor da classificação atribuída. A representação espacial deste parâmetro é apresentada na figura 22a.

Tabela 13: Valor da classificação dos atributos do subcritério falhas geológicas.

Distância das falhas geológicas	Valor da classificação
Menor que 200 metros	0
200 a 250 metros	1
250 a 300 metros	2
Maior que 300 metros	3

b) Linhas de água

Nas principais linhas de água, a localização do aterro sanitário é interdita numa faixa de 200 metros, onde deve ser coberta com vegetação para a proteção da linha de água e suas margens. Perante esta proibição legal criou-se uma área envolvente de 200 metros considerada inadequada para a localização do aterro sanitário. A essa área interior atribui-se o valor zero (tabela 14). À medida que aumenta a distância da zona tampão aumenta o também o valor da classificação atribuída. A representação espacial deste parâmetro é apresentada na figura 22b.

Tabela 14: Valor da classificação dos atributos das linhas de água

Distância às linhas de água	Valores da classificação
Menor que 200 metros	0
200 a 300 metros	1
300 a 400 metros	2
Maior que 400 metros	3

c) Corpos de água

De acordo com as normas vigentes na União Europeia relativamente ao processo de implantação de um aterro sanitário, deve-se averiguar a existência das águas subterrâneas e águas superficiais, para evitar eventual contaminação quer das águas superficiais como a dos aquíferos por lixiviados gerados nos aterros sanitários (Diretiva 99/31/CE). À semelhança desta, a legislação angolana estabelece uma distância mínima de 200 metros entre os corpos de água e áreas de deposição de resíduos sólidos. Em conformidade com a legislação angolana, traçou-se um *buffer* de 200 metros ao corpo de água, atribuindo o valor zero a área interior ao *buffer*. À semelhança dos parâmetros anteriores, à medida que aumenta a distância, aumenta também o valor atribuído (ver figura 22c).

Tabela 15: Valor da classificação dos atributos do subcritério corpos de água.

Distância de corpo de água	Valores da classificação
Menor que 200 metros	0
200 a 250 metros	1
250 a 300 metros	2
Maior que 300 metros	3

d) Unidades geológicas

De acordo com o nível da permeabilidade dos solos, a área de estudo é constituído por unidades com três características e comportamentos hidráulicos distintos. A unidade recente, composta por sedimentos recentes pouco consolidados é a mais permeável e a unidade base é a menos permeável (Gomes, 2008).

De certo modo, no intuito de atenuar os riscos da contaminação dos aquíferos pelas águas lixiviantes, considerou-se inadequada a localização do aterro sanitário nos solos mais permeáveis (ver figura 22d), porque apresenta elevados valores de transmissividade, o que facilita a infiltração das águas lixiviantes em direção ao aquífero (Gomes, 2008).

A unidade base caracteriza-se por valores de transmissividades bastante baixos, relativamente a unidade recente (Gomes, 2008). Face ao exposto esta unidade apresenta melhor aptidão para localizar o aterro sanitário, porque reduz significativamente a infiltração de lixiviados.

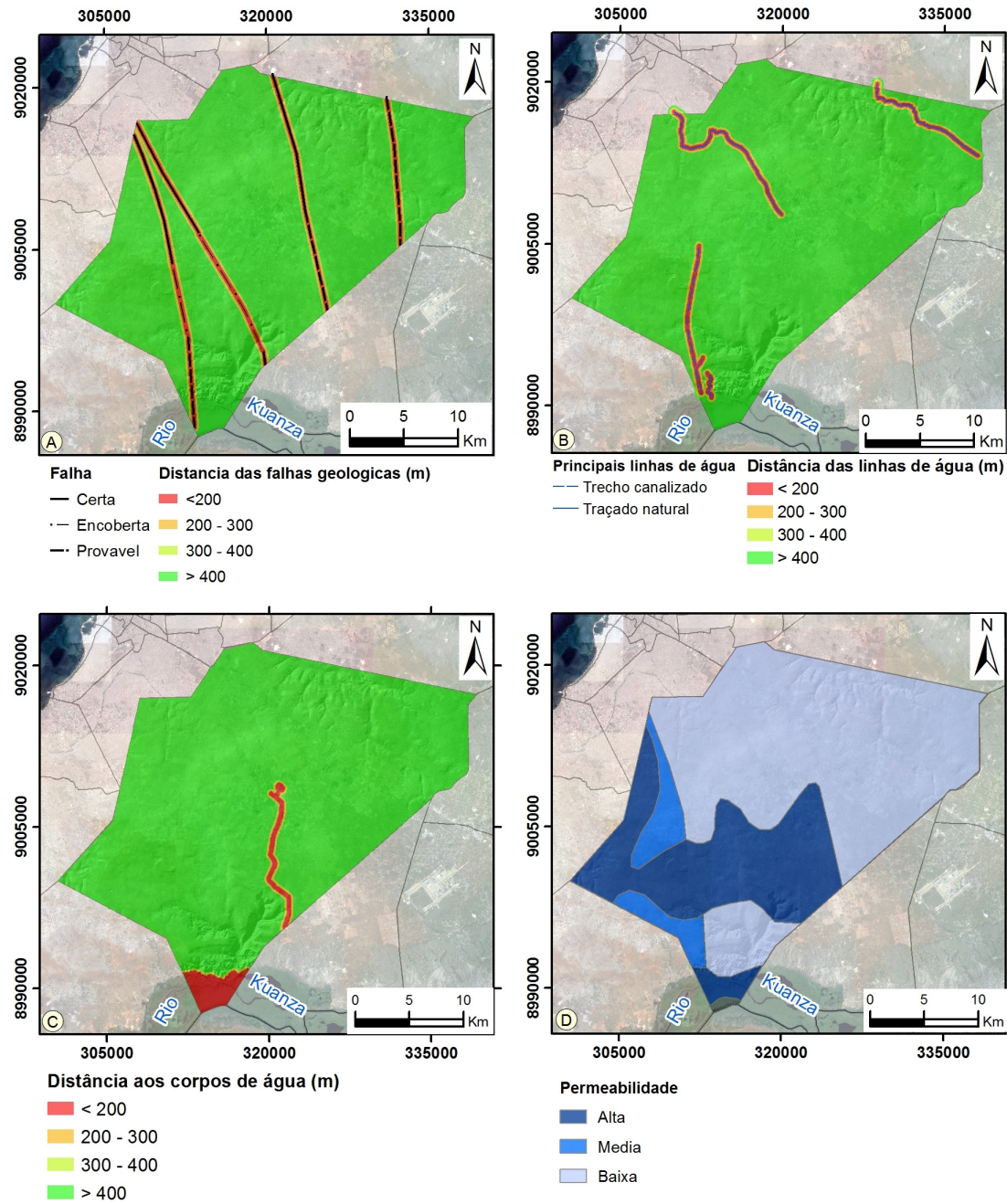


Figura 22: Sub-critérios usados no critério Hidrogeologia.

3.4.3.2 - Uso do solo

Os parâmetros utilizados para análise da aptidão do uso do solo foram: áreas agrícolas, tecido urbano, zonas de indústria e comércio. Estes parâmetros baseiam-se essencialmente em restrição legais (figura 23).

a) Áreas agrícolas

A localização de um aterro sanitário deve ter em conta as áreas agrícolas, e estar afastado destas, porque provoca a proliferação dos insetos e roedores que podem provocar danos na produção. Este facto que justifica a existência de uma distância mínima entre o aterro sanitário e as áreas agrícolas. De acordo com a legislação angolana, essa distância mínima deve ser de 500 metros de qualquer área agrícola. Para tal criou-se por isso um *buffer* de 500 metros e atribuindo-se a esta área um valor de zero (tabela 16). Dentro destas áreas, assim como a área envolvente (500 metros) da zona de tampão são consideradas inadequadas para a localização do aterro sanitário. De 500 a 1000 metros da zona de tampão a classificação atribuída é 1. A distância entre 1000 a 1500 metros atribuiu-se o valor 2 e as áreas que estão a distância igual ou superior a 1500 metros a classificação atribuída é 3.

Tabela 16: Valor da classificação dos atributos dos subcritérios do uso do solo (áreas agrícolas)

Distância em metros	Valor da classificação
Menor que 500 metros	0
500 a 1000 metros	1
1000 a 1500 metros	2
Maior que 1500 metros	3

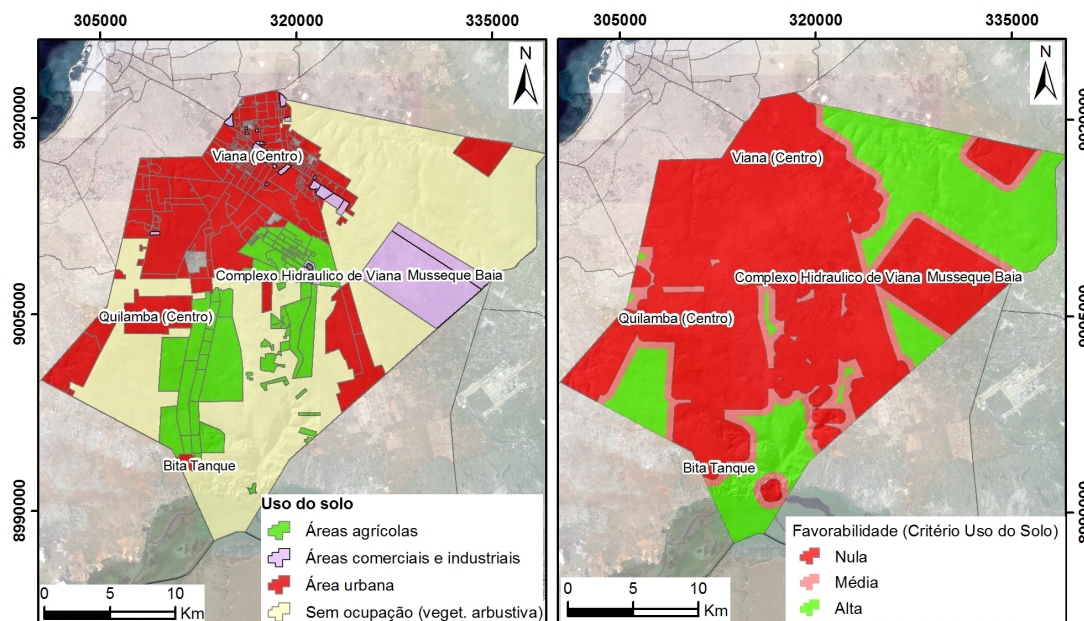
b) Centro de produção dos resíduos sólidos urbanos

A densidade populacional, industrial, comercial, assim como a quantidade de resíduos sólidos urbanos produzidos diariamente foram os parâmetros utilizados para a delimitação do centro de produção dos resíduos sólidos urbanos. Como centros produtores consideraram-se as zonas urbanas, suburbanas, indústria e comércio da sede do município de Viana. A medição das distâncias foi efetuada a partir dos limites exteriores destas áreas.

A localização de um aterro sanitário na proximidade do centro de produção de resíduos sólidos urbanos constitui uma vantagem económica, pois, diminui o custo de transporte dos resíduos (Gemitzi et al., 2007). Atendendo a este pressuposto, considerou-se economicamente mais favorável a localização do aterro sanitário entre os 500 a 2000 metros dos centros (tabela 17). Por outro lado, está interdita uma proximidade inferior a 500 metros, por forma a proteger os aglomerados populacionais dos possíveis efeitos ambientais que uma estrutura como um aterro sanitário geralmente acarreta.

Tabela 17: Valor da classificação dos atributos do subcritério uso do solo (tecido urbano, zona industrial e comercial).

Distância em metros	Valor da classificação
Menor que 500 metros	0
500 a 2000 metros	3
2000 a 3000 metros	2
Maior que 3000 metros	1



Fonte: cartas topográficas escala 1:25000, folhas 89-C-4, 89-D-1,2,3 e 4, 90-C-3, 107-A-2 e 107-B-1 e 2.

Figura 23: Uso do solo e respectivas classificações, na área da comuna sede do município de Viana.

3.4.3.3 - Rede viária

Este critério está relacionado essencialmente com os custos de transporte, uma vez que, quanto mais próximo estiver o aterro sanitário das estradas principais e do centro de produção dos resíduos sólidos urbanos, menor será o custo associado à construção de novas vias e ao transporte dos resíduos. Por esta razão é economicamente viável a localização de um aterro sanitário próximo das vias principais, uma vez que reduz os custos relativos ao transporte dos resíduos sólidos urbanos e de construção de vias de acesso ao aterro. Tendo em conta as normas técnicas na construção do aterro sanitário (Rushbrook & Pugh, 1999; Vega y de la Fuente, 2003) criou-se uma zona tampão de 100 metros, considerando esta como zona inadequada para a localização do aterro sanitário, atribuindo a classificação de zero a esta área (tabela 18). As áreas compreendidas entre 100 a 1000 metros de distância das vias principais foram consideradas as melhores para a construção do aterro sanitário. À medida que nos afastamos das vias principais a classificação diminui (figura 24).

Tabela 18: Valor da classificação dos atributos do critério rede viária.

Distância em metros	Valor da classificação
Menor que 100 metros	0
100 a 1000 metros	3
Maior que 1000 metros	2

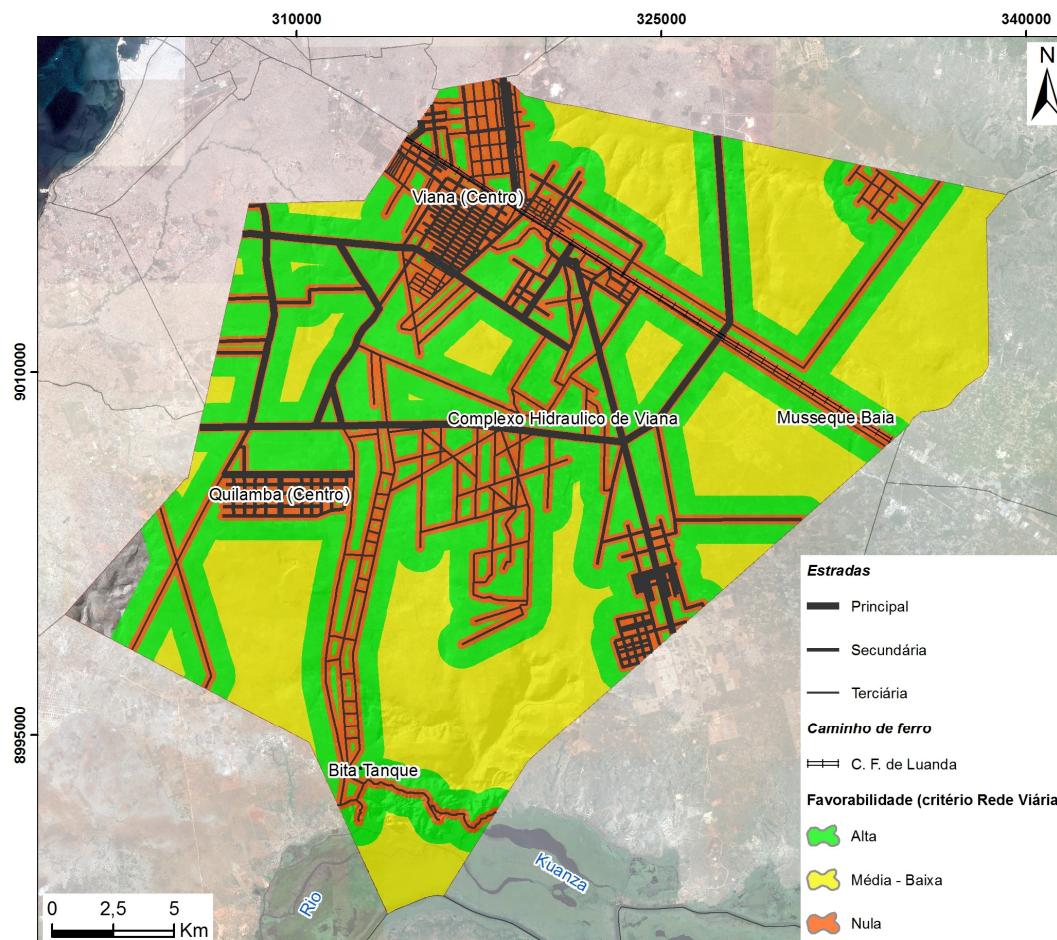


Figura 24: Rede viária e respectivas classificações na área da comuna sede do município de Viana.

3.4.3.4 – Morfologia

Como elemento morfológico, foi considerado o valor de declive da área de estudo. O cálculo do declive foi efetuado a partir do modelo digital do terreno da área de estudo, expressa em graus e foram definidas em três classes (tabela 19). A localização do aterro sanitário em zonas com o declive acentuado implica um acréscimo substancial dos custos de operações. Quanto maior for o declive, menor será a prevenção de lixiviação do solo (Kontos & Komilis, 2005).

Tabela 19: Classificação do critério declive

Declive em graus	Valor da classificação
0 a 10	3
10 a 15	2
Maior que 15	0

Considera-se adequada para a construção do aterro sanitário, nas áreas cujos declives variam de 0° a 15° (figura 25). As áreas com 0°-10° e 10°-15° foram classificadas com 3 e 2 respetivamente; as áreas com declive superior a 15° foram consideradas inadequadas, porque a sua construção é demasiado onerosa (Wang et al., 2009).

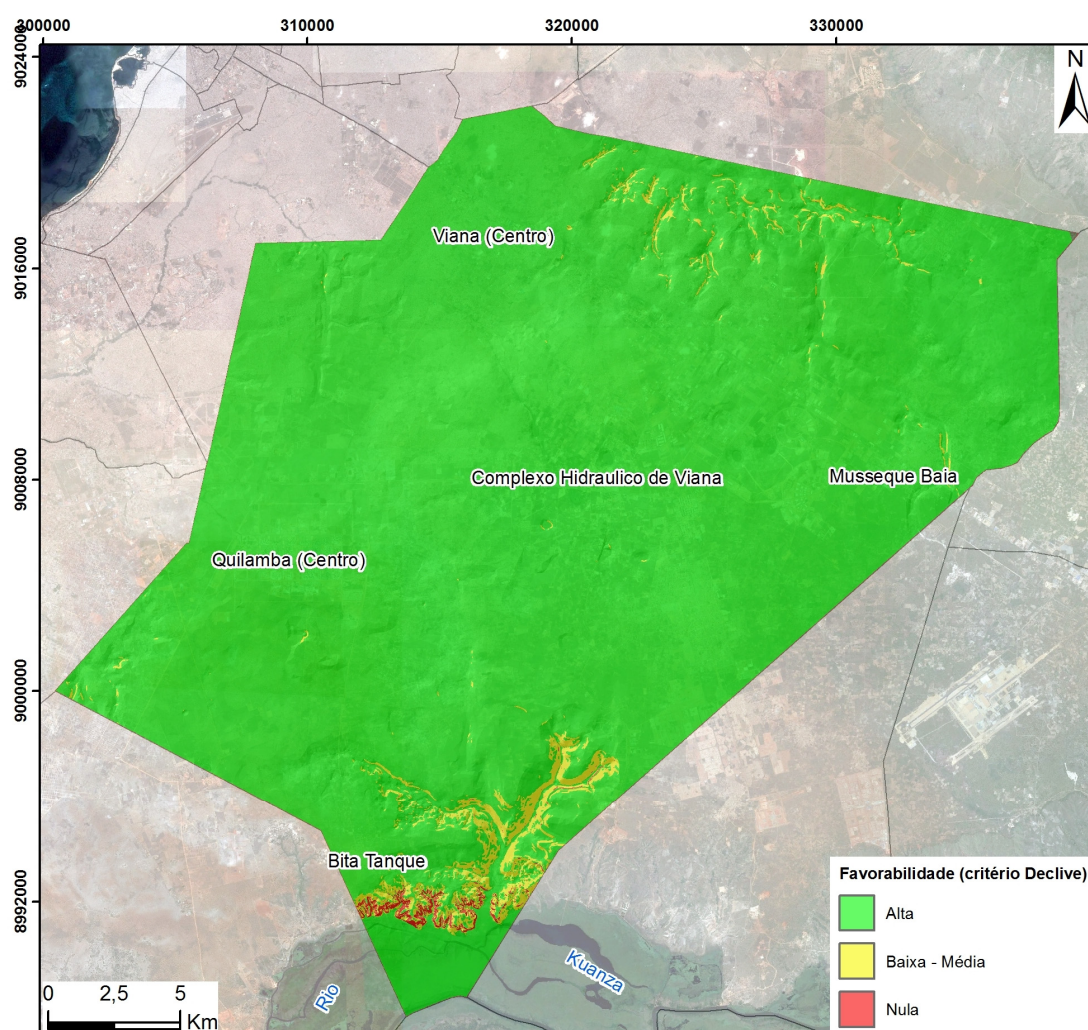


Figura 25: Mapa de declives da área da comuna sede do município de Viana

3.4.3.5 - Agregação dos critérios

Os critérios foram então cruzados, de forma a obter um mapa com as localizações mais favoráveis para a localização do aterro sanitário. Este foi produzido através de uma soma ponderada (ferramenta *weighted sum*) a partir da cartografia parcial de cada um dos critérios (hidrogeologia, uso do solo, rede viária e morfologia), devidamente normalizados (0 a 3), atribuindo os respetivos pesos de acordo com os cálculos previamente apresentado, obtendo-se assim áreas com maior aptidão para implantação do aterro sanitário. Os resultados cartográficos obtidos foram classificados em 4 categorias: Nula (classificação 0), Baixa (classificação 1), Média (classificação 2) e Elevada (classificação 3) conforme consta na figura 26.

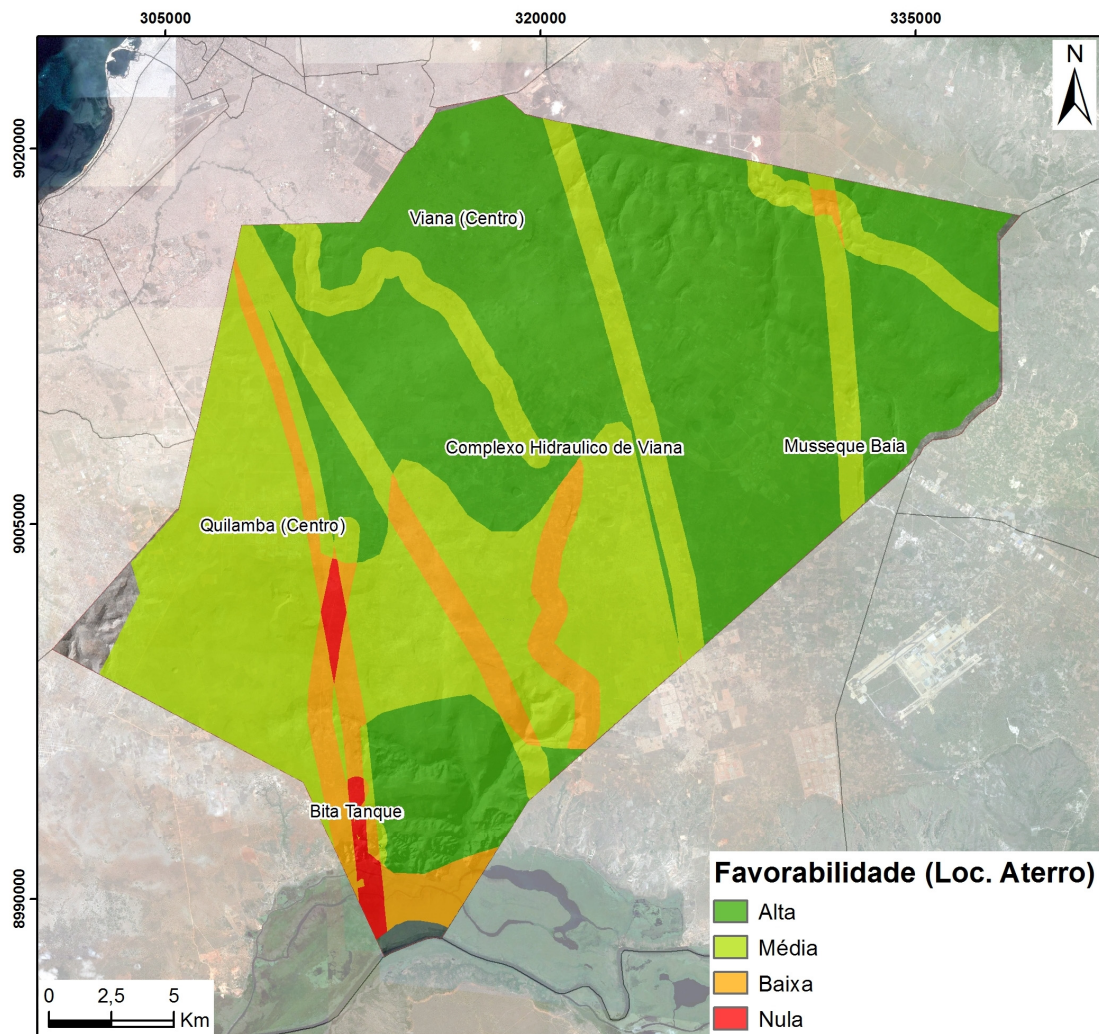


Figura 26: Áreas favoráveis para a localização do aterro sanitário na área da comuna sede do município de Viana.

As áreas mais favoráveis localizam-se sobretudo na parte norte da comuna, nomeadamente a Norte do Complexo Hidráulico de Viana e de Musseque Baía. A única exceção é a área localizada a Este de Bitá Tanque.

No entanto, estas áreas devem ser apenas consideradas como indicativas, pois resultam apenas da combinação dos fatores considerados, não considerando ainda as restrições.

Apos a obtenção da cartografia parcial com a identificação das áreas mais favoráveis para a localização de um aterro sanitário no Município de Viana foram produzidos os mapas com as áreas de restrições correspondentes ao uso do solo, rede viária, corpos de água, falhas geológicas, linhas de águas e morfologia, conforme consta na figura 27.

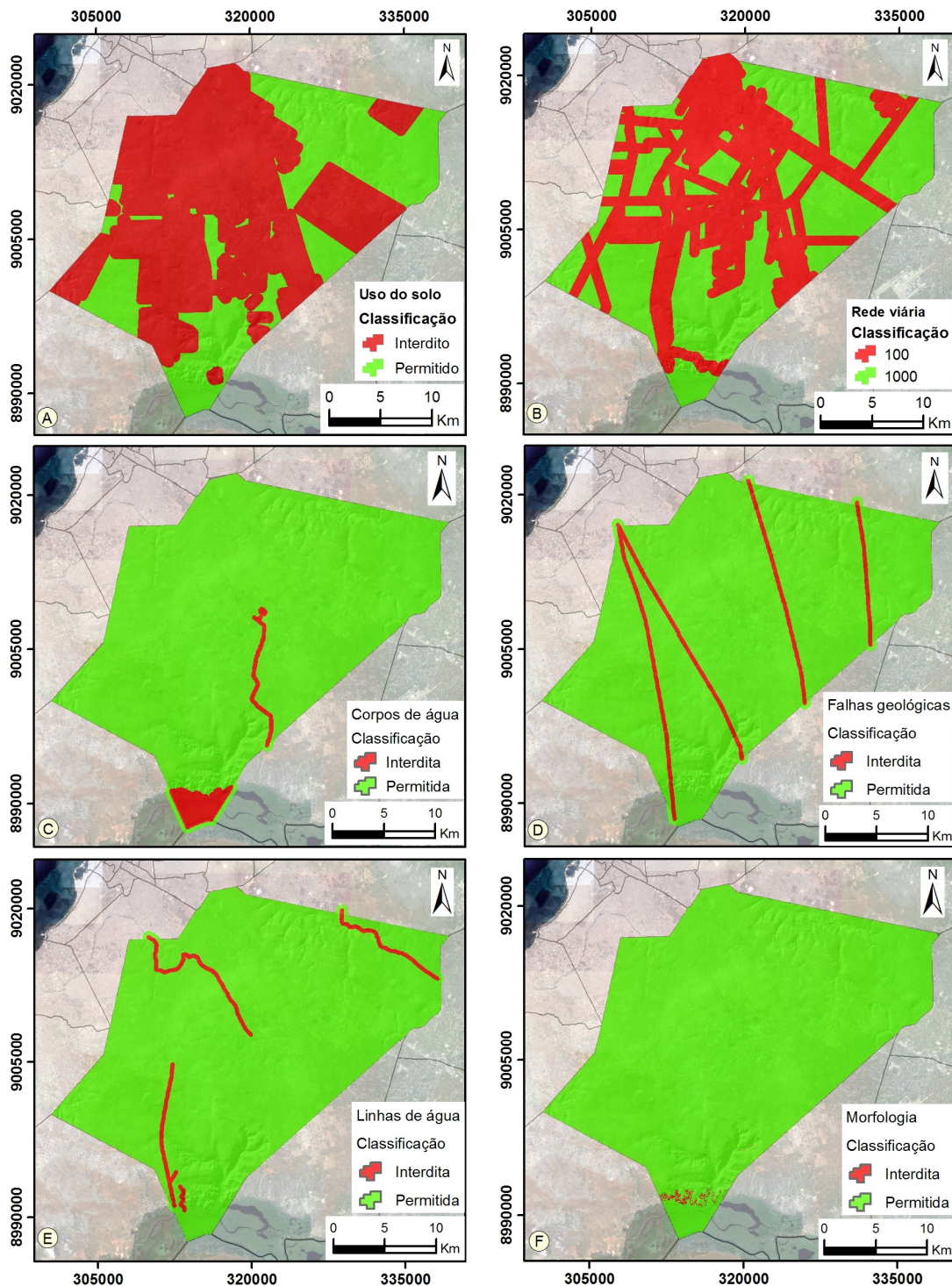


Figura 27: Restrições consideradas, na área da comuna sede do município de Viana.

Com a cartografia parcial produzida, bem como com as diferentes restrições, foram eliminadas, das áreas iniciais, as áreas que se incluíam em, pelo menos, uma restrição. O A cartografia respectiva é apresentada na figura 28.

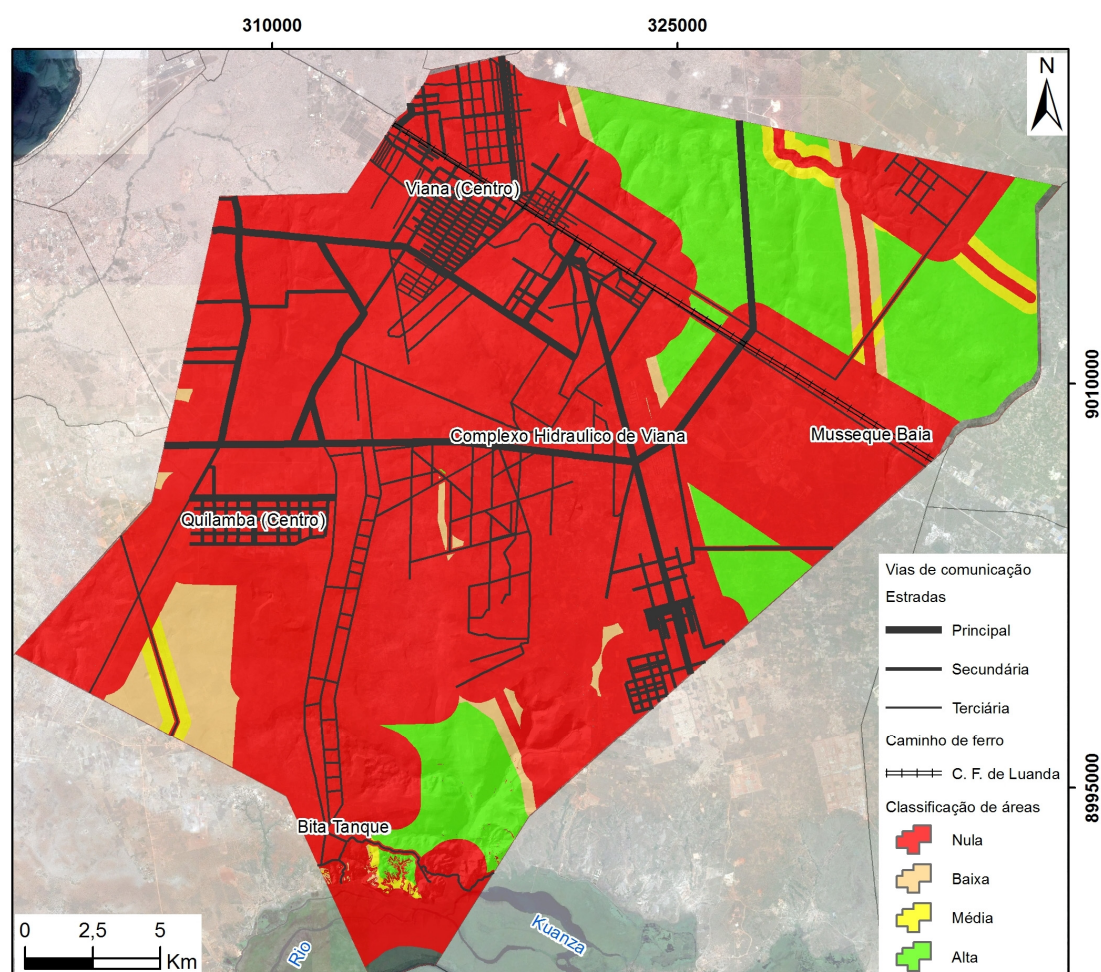


Figura 28: Cartografia final de áreas favoráveis para a localização de um aterro sanitário.

O resultado obtido foi classificado em 4 níveis de aptidão: Nula (classificação 0), Baixa (classificação 1), Média (classificação 2) e Elevada (classificação 3); na tabela 20 apresentam-se as áreas de cada nível de aptidão, e respectivas percentagens em relação à área total. Após este cálculo, será efetuado o cálculo de cada área isolada, e validada consoante o valor de área mínima calculada em função das variáveis locais.

Tabela 20: análise de aptidão de áreas de estudo

Nível de aptidão	Valores	Áreas em Km ²	Áreas em (%)
Nula	0	574,36	82,40
Baixa	1	13,45	1,90
Média	2	6,11	0,90
Elevada	3	99,86	14,80

3.4.3.6 - Cálculo de áreas necessárias para o aterro sanitário

O tamanho de um aterro sanitário depende de um conjunto de fatores tais como: horizonte do projeto (vida útil do projeto), universo de população a servir, produção de resíduos, volume de resíduos, plano de aproveitamento do terreno e áreas necessária para deposição dos resíduos sólidos urbanos (Levy & Cabaças, 2006).

Para obter a área necessária para o aterro sanitário, os dados considerados foram os seguintes: taxa de crescimento da população, média *per capita* da produção dos resíduos sólidos urbanos, população total, vida útil do aterro e peso específico dos resíduos sólidos urbanos.

Para o município de Viana, considerando a população total de 2.071.850 habitantes, com uma média *per capita* na produção de resíduos sólidos urbanos em 0,6 kg/hab./dia⁷ em Angola, estimou-se uma produção de resíduos sólidos urbanos em 15 anos⁸, a quantidade de 17.015.068 toneladas⁹, assumindo uma taxa de crescimento populacional de 10% por ano e a produção *per capita* constante durante esse período. A taxa do crescimento populacional de 10 % resulta de uma ponderação devido ao elevado e crescente saldo migratório registado no município de Viana em relação a província de Luanda conforme consta nas tabelas 5 e 6.

O volume ocupado pelos resíduos sólidos urbanos no aterro sanitário é calculado, dividindo a produção dos resíduos sólidos urbanos calculada anteriormente pelo peso específico dos resíduos sólidos urbanos (0,8 toneladas por metros cúbicos), após a compactação em aterro sanitários (Levy & Cabaças, 2006). Ao resultado é adicionado o volume de terra necessária para a cobertura a colocar diariamente sobre os resíduos sólidos urbanos¹⁰.

Deste modo, estima-se que o volume global dos resíduos sólidos urbanos e terra de cobertura acumulado durante 15 anos, no município de Viana será de aproximadamente 21.450.000 m³.

Segundo Levy & Cabaças (2006), a área necessária para o aterro sanitário é calculada com a seguinte expressão:

Área = Vg / H, sendo Vg volume global e H altura razoável.

Logo, para uma escavação de 4 metros¹¹ de altura, a área mínima do aterro sanitário será de 535,97 hectares. A este valor devem ser adicionados mais 2,5 hectares correspondentes as restantes infraestruturas que compõem o aterro, nomeadamente as

⁷ Segundo dados de 2001 do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – Angola.

⁸ Em termo de aterro sanitário, o horizonte de projeto técnico-económico considera-se mais ajustado e viável num período entre 12 a 15 anos (Levy & Cabaças, 2006).

⁹ A produção diária é obtida através do produto da população pela capitação dos resíduos, resultando na produção anual multiplicando com 365 dias ao ano.

¹⁰ Volume de terra de cobertura é equivalente a 15% do volume anual dos resíduos sólidos urbanos (Levy & Cabaças, 2006).

¹¹ Adoção de 4 metros de altura, de acordo com Rushbrook & Pugh (1999) e Vega y de la Fuente (2003).

instalações de apoio e cortina arbórea, vias de circulação interna e sistema de tratamento de afluentes.

Adicionando as áreas complementares do aterro sanitário, a área mínima para implantação do aterro sanitário no Município de Viana deverá ser de 538,5 hectares.

Assim, as áreas com aptidão para a implantação de um aterro sanitário devem ter uma dimensão igual ou superior 538,5 hectares e também a sua localização geográfica em relação à rede viária e aos centros de produção de RSU. Deste modo, foi possível localizar 5 áreas alternativas com uma dimensão superior do valor necessário e com uma localização geográfica próxima aos centros de produção de resíduos e à rede viária. Estas áreas apresentam-se na figura 29. A área a Leste de Bitá Tanque foi excluída por se encontrar muito distante dos centros de produção de RSU e da rede viária.

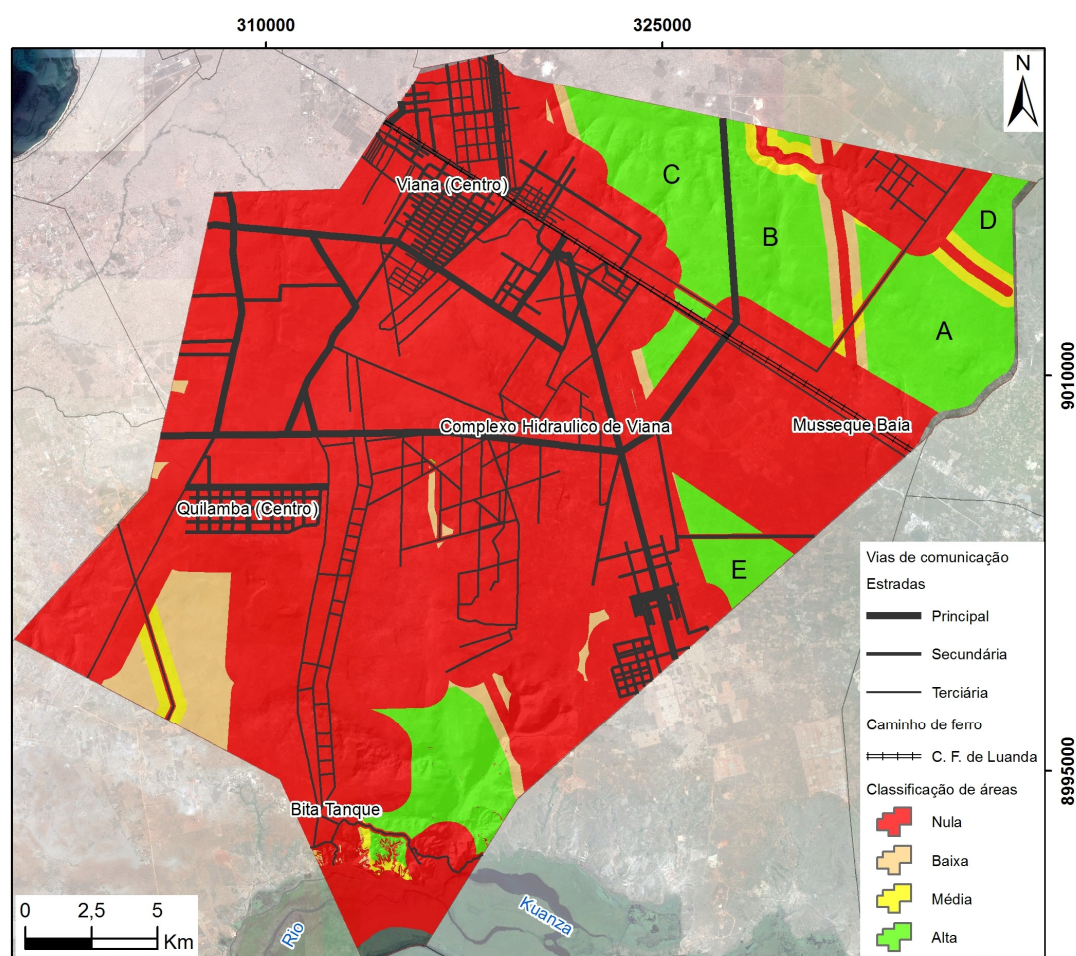


Figura 29: Classificação das áreas com aptidão para localização do aterro sanitário

A nomenclatura das alternativas das áreas em A, B, C, D e E não foi feita de acordo com nenhum critério específico. Esta serve apenas para identificar as áreas, para que os pontos seguintes sejam melhor perceptíveis.

A área respetiva de cada alternativa, em hectares, conforme ilustra a tabela 21.

Tabela 21: Áreas dos locais ótimos para implantação do aterro sanitário

Localização	Área em hectares
A	2482,50
B	2207,90
C	2649,40
D	592,30
E	589,00

3.4.3.7 - Análise de Benefícios, custos e riscos (critério de controlo)

Para a avaliação final das áreas de localização de aterro sanitário, foram verificados quais os requisitos de viabilidade técnica, económica e ambiental no qual deve ser satisfeito, tendo em consideração as características do local, vizinhança, natureza, quantidade de resíduos que se espera receber. A análise do benefício, custo e risco passam assim a ser um novo critério para o problema.

Deste modo, estruturou-se uma nova hierarquia (figura 30), que permitirá hierarquizar as alternativas identificadas.

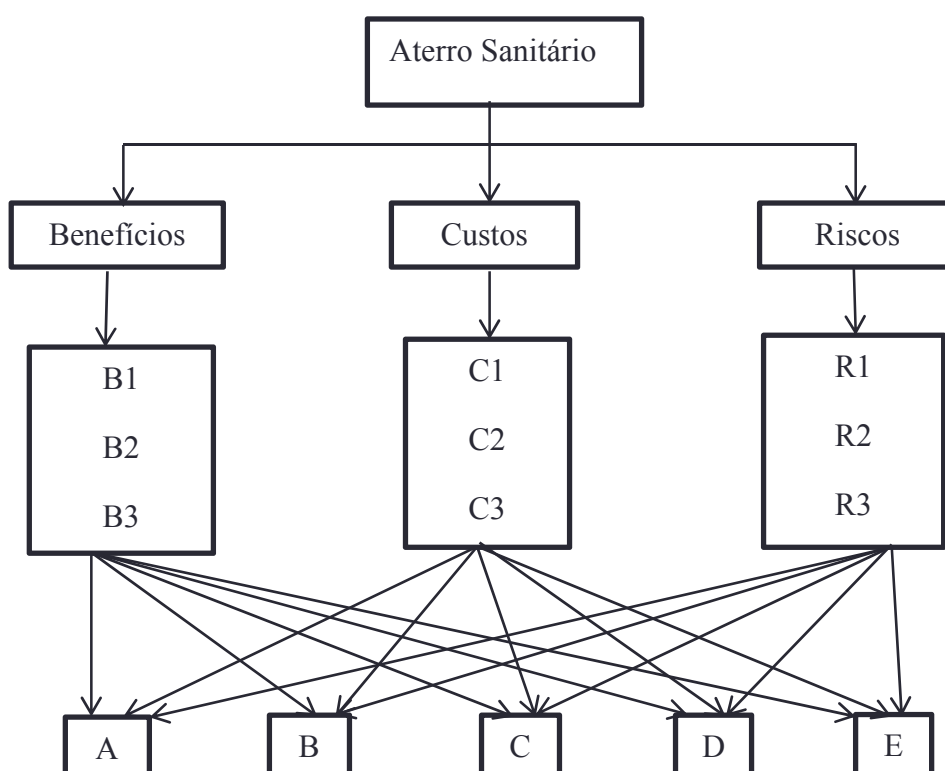


Figura 30: Hierarquia para a análise de Benefícios, Custos e Riscos (BCR)

Para o critério **Benefícios**, identificaram-se com os seguintes subcritérios de controlo:

- B1 – Facilidade de acesso de veículos à área de aterro sanitário;
- B2 – Volume de resíduos a receber;
- B3 – Facilidade de aproveitamento e ocupação do solo.

O critério **Custos** apresenta os seguintes subcritérios:

- C1 – Distância em transporte do centro de produção de RSU ao aterro sanitário;
- C2 – Vias de acesso ao local do aterro sanitário;
- C3 – Disponibilidade de infraestruturas (água, eletricidade e telefone).

E finalmente, no critério de **Riscos** consideraram-se os seguintes subcritérios:

- R1 – Impacto visual;
- R2 – A proximidade a locais de cultura (áreas agrícolas);
- R3 – A proximidade do aeroporto¹².

A análise das alternativas, dos critérios e subcritérios de controlo fez-se de forma semelhante à abordagem anterior, tendo resultado desta as matrizes de julgamentos abaixo (tabelas 22 a 29) e respetivas prioridades (pesos). Para o critério de segundo, terceiro e quarto nível, o decisor deve procurar responder à seguinte questão: Qual entre eles, deve ser prioridade na localização de Aterro Sanitário? As prioridades (pesos) das alternativas (A,B,C,D e E) foram feitas para cada subcritério (B1, B2, B3, C1, C2, C3, R1, R2 e R3).

Tabela 22: Matriz de comparação para BCR.

Critério	Benefícios	Custos	Riscos
Benefícios	1	4	6
Custos	1/4	1	3
Riscos	1/6	1/3	1

Tabela 23: Matriz normalizada para BCR.

Critério	Benefícios	Custos	Riscos	Prioridades
Benefícios	0,71	0,75	0,60	0,69
Custos	0,18	0,19	0,30	0,22
Riscos	0,12	0,06	0,10	0,093

IC = 0,03 e RC = 0,05

Análise do critério Benefícios

Tabela 24: Matriz de comparação do Critério Benefícios.

Benefícios	B1	B2	B3
B1	1	1/4	1/4
B2	4	1	1/2
B3	4	2	1

¹² As alternativas A e E estão próximas da zona onde está a ser construído o novo aeroporto internacional de Luanda, situado na comuna de Calumbo, município de Viana.

Tabela 25: Matriz normalizada e o vetor de prioridade para o critério Benefícios.

Benefício	B1	B2	B3	Prioridades
B1	0,11	0,08	0,14	0,11
B2	0,44	0,31	0,29	0,35
B3	0,44	0,62	0,57	0,54

IC = 0,03 e RC = 0,05

Análise do critério Custos

Tabela 26: Matriz de comparação do critério Custos.

Custos	C1	C2	C3
C1	1	2	1/3
C2	1/2	1	1/4
C3	3	4	1

Tabela 27: Matriz normalizada e de prioridade do critério Custos.

Custos	C1	C2	C3	Prioridades
C1	0,2222	0,2857	0,2089	0,2389
C2	0,1111	0,1429	0,1583	0,1374
C3	0,6667	0,5715	0,6330	0,6237

IC = 0,01 e RC = 0,01

Análise do critério Riscos

Tabela 28: Matriz de comparação do critério riscos

Riscos	R1	R2	R3
R1	1	1/2	1/3
R2	2	1	1/3
R3	3	3	1

Tabela 29: Matriz normalizada do critério de riscos

Riscos	R1	R2	R3	Prioridades
R1	0,17	0,11	0,2	0,16
R2	0,33	0,22	0,2	0,25
R3	0,50	0,67	0,6	0,59

IC = 0,02 e RC = 0,05

A hierarquia das diferentes localizações mediante os critérios Benefício, Custo e Risco apresentam-se nas figuras 24 a 26, e nas tabelas 30 a 32 as respectivas prioridades.

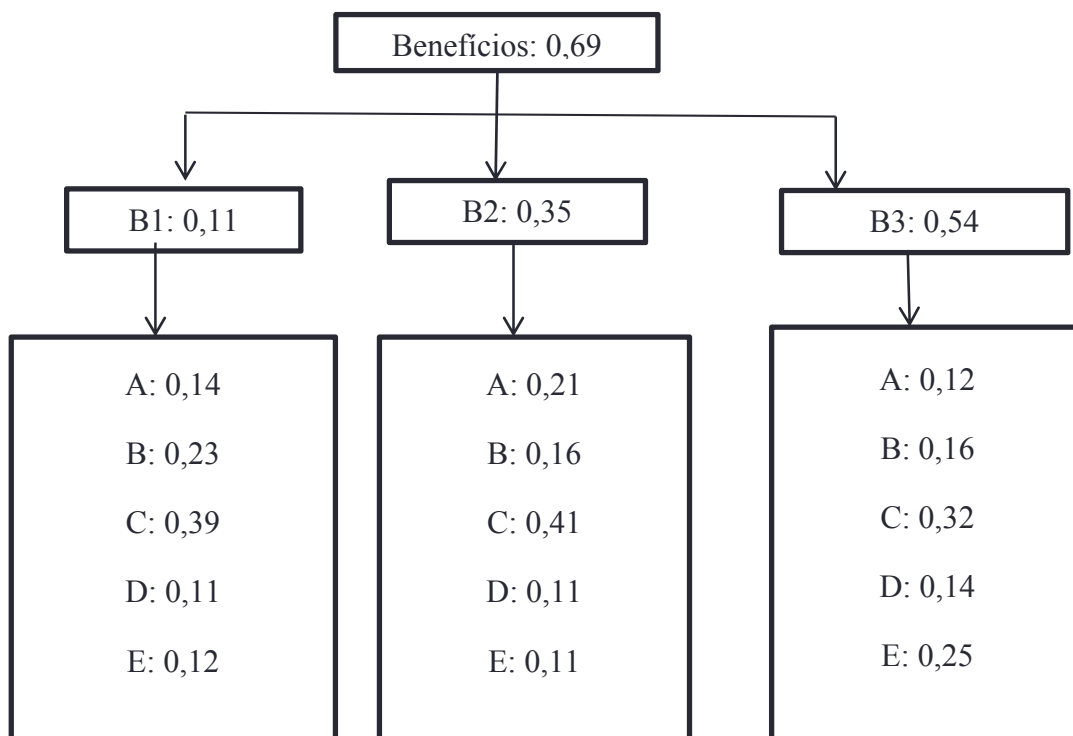


Figura 31: Hierarquia do critério benefícios para o problema do Aterro Sanitário

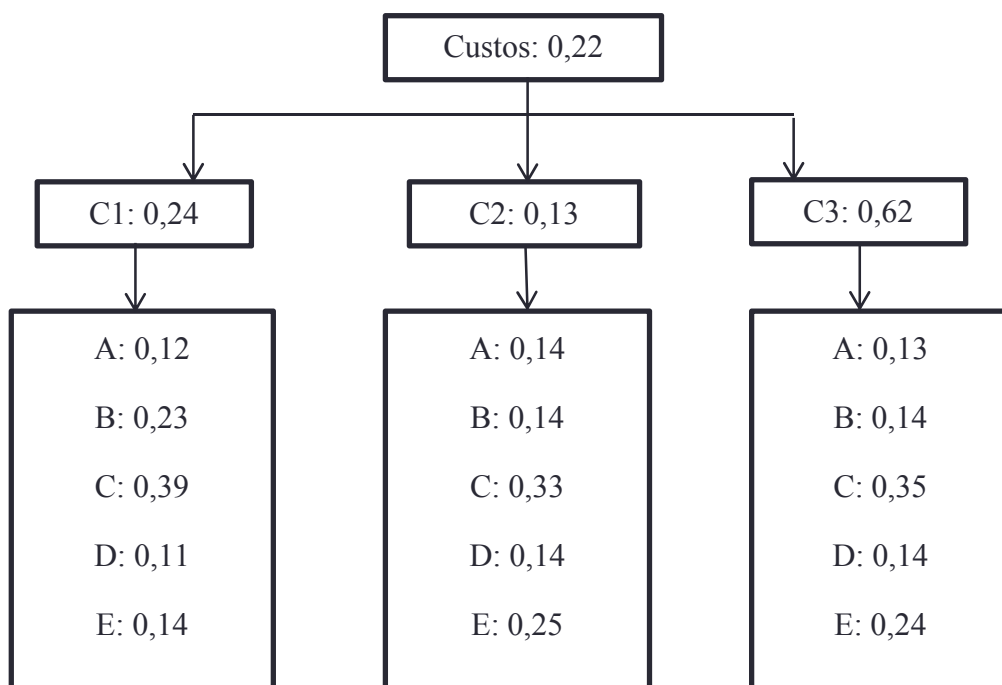


Figura 32: Hierarquia do critério custos para o problema do Aterro Sanitário

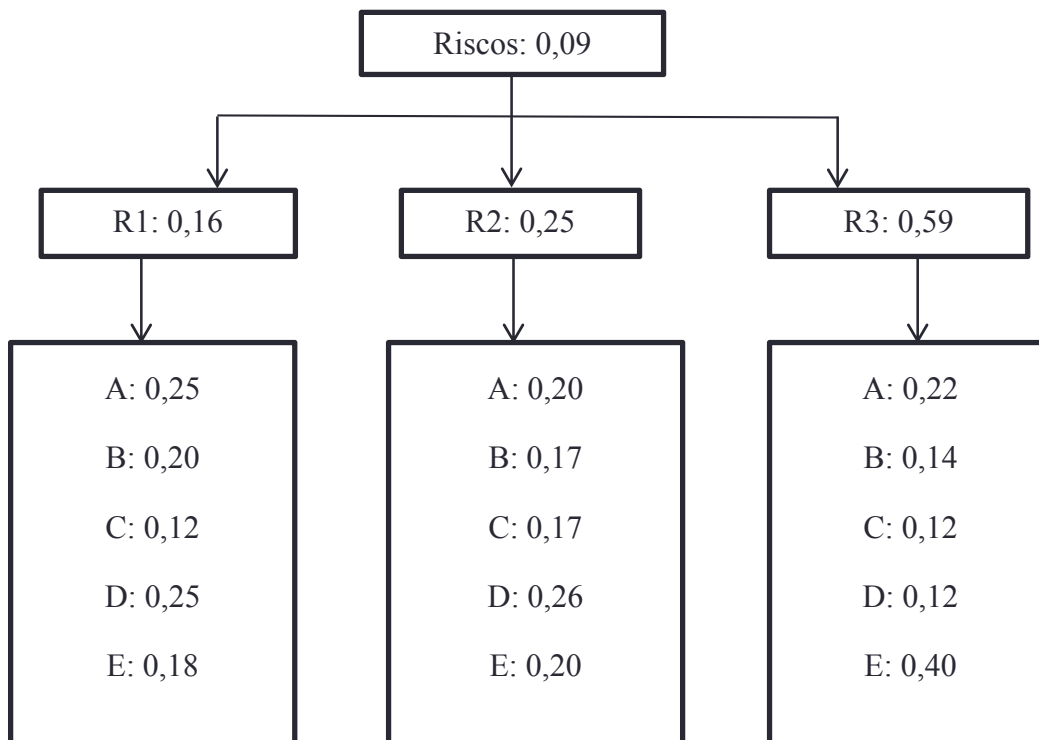


Figura 33: Hierarquia do critério riscos para o problema do Aterro Sanitário

Tabela 30: Prioridades (pesos) das alternativas nos subcritérios B1,B2 e B3.

B1	Prioridade	B2	Prioridade	B3	Prioridade
A	0,14	A	0,21	A	0,12
B	0,23	B	0,16	B	0,16
C	0,40	C	0,41	C	0,32
D	0,11	D	0,11	D	0,14
E	0,12	E	0,11	E	0,25

Tabela 31: Prioridades (pesos) das alternativas nos subcritérios C1,C2 e C3.

C1	Prioridade	C2	Prioridade	C3	Prioridade
A	0,12	A	0,14	A	0,13
B	0,23	B	0,14	B	0,14
C	0,40	C	0,32	C	0,35
D	0,11	D	0,14	D	0,14
E	0,14	E	0,25	E	0,25

Tabela 32: Prioridades (pesos) das alternativas nos subcritérios R1,R2 e R3.

R1	Prioridade	R2	Prioridade	R3	Prioridade
A	0,25	A	0,20	A	0,22
B	0,20	B	0,17	B	0,14
C	0,12	C	0,17	C	0,12
D	0,25	D	0,26	D	0,12
E	0,18	E	0,20	E	0,40

Para a decisão final, calculou-se a prioridades (pesos) final de cada alternativa a partir da (equação 8) cujos resultados foram substituídos na (equação 9).

Deste modo, para os benefícios (b_B) resultou o seguinte cálculo (tabela 33):

Tabela 33: Peso final dos benefícios das alternativas

Alternativa	bB
A	0,12
B	0,12
C	0,25
D	0,09
E	0,13

O resultado de b_B foi obtido a partir da seguinte expressão:

$$PX_B = PB \cdot PB_1 \cdot PX_{B1} + PB \cdot PB_2 \cdot PX_{B2} + PB \cdot PB_3 \cdot PX_{B3}$$

Onde: PX_B é o peso final dos Benefícios das alternativas (A,B,C,D e E); PB o peso do critério benefícios (B); PB_i ($i= 1,2,3$) o peso dos benefícios dos subcritérios (B1,B2 e B3) e PX_{Bi} ($i=1,2,3$) o peso dos benefícios das alternativas de cada subcritérios (B1,B2 e B3).

De outro modo, o peso final dos benefícios de alternativa **A** é igual ao somatório dos produtos (peso do critério benefício **B** vezes o peso do subcritério **B1** vezes o peso da alternativa **A** em relação a **B1**, mais o peso do critério benefício **B** vezes o peso do subcritério **B2** vezes o peso da alternativa **A** em relação a **B2**, mais o peso do critério benefício **B** vezes o peso do subcritério **B3** vezes o peso da alternativa **A** em relação a B3). O mesmo processo faz-se para calcular o peso final dos benefícios das restantes alternativas (B,C,D e E) conforme consta na figura 24.

O resultado de c_C na tabela 34 foi obtido da seguinte maneira:

$$PXC = PC \cdot PC_1 \cdot PXC_1 + PC \cdot PC_2 \cdot PXC_2 + PC \cdot PC_3 \cdot PXC_3$$

Onde: PXC é o peso dos Custos das alternativas (A,B,C,D e E); PC o peso do critério Custo (C); PC_i ($i= 1,2,3$) o peso dos Custos dos subcritérios (C1,C2 e C3) e PXC_i ($i=1,2,3$) o peso dos Custos das alternativas de cada subcritérios (C1,C2 e C3).

Do mesmo modo, o peso final dos custos de alternativa **A** é igual ao somatório dos produtos (peso do critério custos **C** vezes o peso do subcritério **C1** vezes o peso da alternativa **A** em relação a **C1**, mais o peso do critério custos **C** vezes o peso do subcritério **C2** vezes o peso da alternativa **A** em relação a **C2**, mais o peso do critério custos **C** vezes o peso do subcritério **C3** vezes o peso da alternativa **A** em relação a **C3**). O mesmo processo faz-se para calcular o peso final dos custos das restantes alternativas (**B**, **C**, **D** e **E**) conforme consta na figura 25.

Para os custos (c_C) obtiveram-se os seguintes resultados:

Tabela 34: Peso final dos custos das alternativas

Alternativa	c_C
A	0,03
B	0,04
C	0,08
D	0,03
E	0,05

Finalmente, para os riscos (r_R) obtiveram-se os seguintes resultados:

Tabela 35: Peso final dos riscos das alternativas

Alternativa	r_R
A	0,02
B	0,01
C	0,01
D	0,02
E	0,03

O resultado de r_R na (tabela 35) foi obtido da seguinte maneira:

$$PXR = PR * PR1 * PXR1 + PR * PR2 * PXR2 + PR * PR3 * PXR3$$

Onde: PXR é o peso dos Riscos das alternativas (**A**, **B**, **C**, **D** e **E**); PR o peso do critério Risco (**R**); PR_i ($i = 1, 2, 3$) o peso do Riscos dos subcritérios (**R1**, **R2** e **R3**) e PXR_i ($i = 1, 2, 3$) o peso do Riscos das alternativas de cada subcritérios (**R1**, **R2** e **R3**).

Do mesmo modo, o peso final dos riscos de alternativa **A** é igual ao somatório dos produtos (peso do critério riscos **R** vezes o peso do subcritério **R1** vezes o peso da alternativa **A** em relação a **R1**, mais o peso do critério riscos **R** vezes o peso do subcritério **R2** vezes o peso da alternativa **A** em relação a **R2**, mais o peso do critério riscos **R** vezes o peso do subcritério **R3** vezes o peso da alternativa **A** em relação a **R3**). O mesmo processo faz-se para calcular o peso final dos riscos das restantes alternativas (**B**, **C**, **D** e **E**) conforme consta na figura 26.

A tabela 36 apresenta os resultados finais para cada alternativa em relação aos benefícios (b_i), custos (c_i) e riscos (r_i), com os valores de B, C e R da matriz normalizada, que foram calculados aplicando a (equação 9).

Tabela 36: Peso final das alternativas em função do benefício, custo e risco (BCR).

Alternativa	bB	cC	rR	bB - cC - rR
A	0,11	0,03	0,02	0,06
B	0,12	0,04	0,014	0,07
C	0,25	0,08	0,01	0,16
D	0,09	0,03	0,01	0,04
E	0,13	0,05	0,03	0,05

Portanto, de acordo com a (tabela 36), recomenda-se mais uma vez ao decisor, tal como na abordagem anterior, a escolha da alternativa (C) como melhor localização para a construção de um aterro sanitário. O resultado cartográfico final, com a hierarquização das áreas, é apresentado na figura 27.

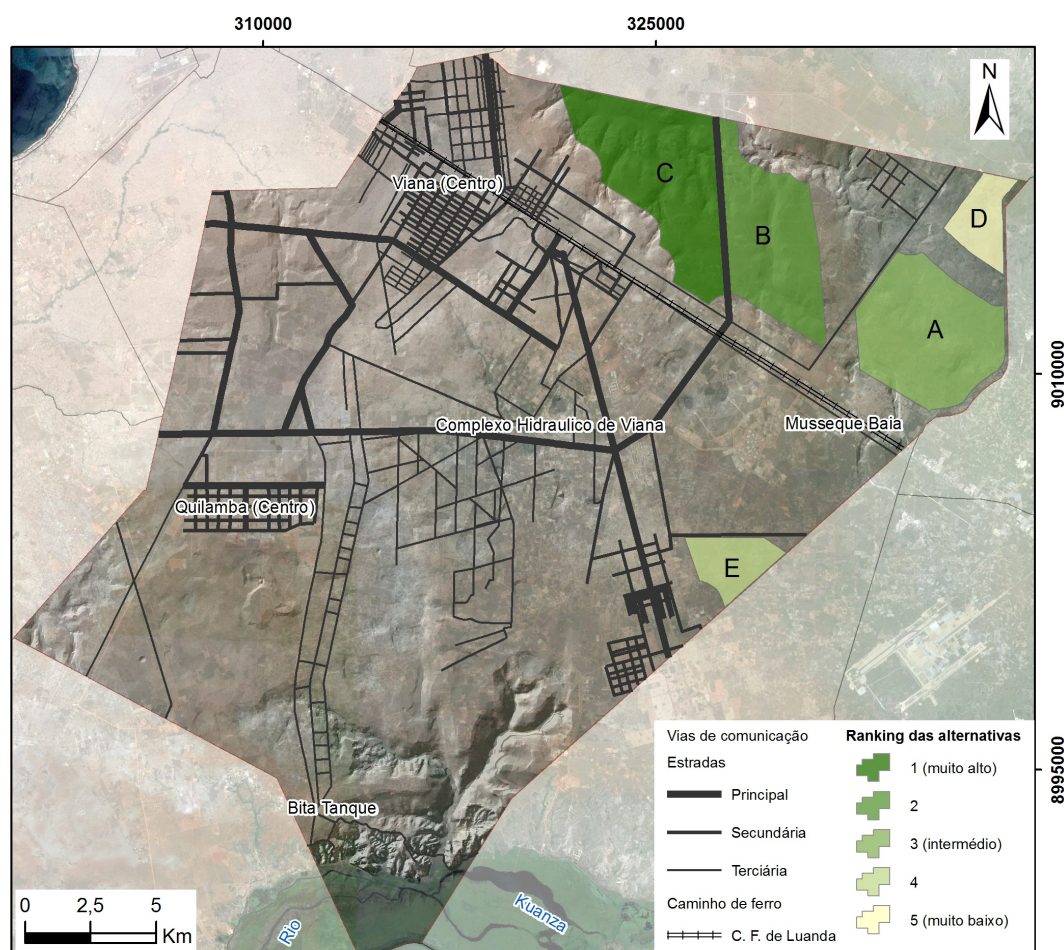


Figura 34: Ranking das alternativas

4. Discussão e conclusão

O trabalho desenvolvido na perspetiva de quantificar as áreas favoráveis para a localização de um aterro sanitário através dos Sistemas de Informação Geográfica em combinação com outros métodos e técnicas de análise, demonstra a grande importância dos SIG no planeamento urbano e ordenamento do território, ao modelar e simular as restrições físicas e ambientais, com a utilização dos métodos de apoio à decisão.

O modelo de localização foi aplicado na comuna sede do município de Viana com o objetivo de identificar os locais ótimos para a localização de um aterro sanitário. O problema foi estruturado em quatro níveis de análise, dos quais no primeiro e segundo níveis a integração foi feita com base na integração dos pesos de cada critério.

O método AHP foi utilizado para hierarquizar o problema, definir os pesos para cada critério de avaliação e ao mesmo tempo avaliar a consistência dos pesos atribuídos. A análise multicritério permitiu também avaliar aptidão da área de estudo.

Neste estudo, a partir da combinação de análise multicritério e AHP em ambiente SIG, foram analisados vários critérios e subcritérios de natureza geo-espacial distintos, com o intuito de avaliar a aptidão na sede do município de Viana para implantação de um aterro sanitário.

O nível de aptidão da área de estudo resultou da sobreposição dos critérios, e os seus respetivos pesos.

A figura 34 ilustra o mapa de aptidão final da área de estudo segundo os critérios estabelecidos. Os valores da classificação hierarquizam as diferentes alternativas, resultante da análise multicritério e de análise ponderada através do AHP.

Consideraram-se também as restrições legais estabelecidas na legislação Angolana e em alguns casos da União Europeia, tal como as áreas com o declive acentuado (superior a 15°). As áreas com aptidão nula correspondem a 82,4% da área de estudo, enquanto as com aptidão baixa, média e elevadas correspondem a 1,9%; 0,9% e 14,8% respetivamente.

O cálculo de área necessária para o aterro sanitário e a localização em relação à rede viária e aos centros de produção dos resíduos sólidos urbanos foram extremamente importantes para a determinação dos cinco locais com maior aptidão para a construção de um aterro sanitário. As restantes áreas, apesar de terem um nível de aptidão elevada, não foram consideradas porque possuem superfície com tamanho inferior a 538,5 hectares e por terem uma localização muito distante da rede viária e dos centros de produção de resíduos.

Das cinco alternativas com melhores condições para a localização do aterro sanitário, numa análise de controlo do benefício, custo e risco (CBR), a alternativa com melhores condições é a alternativa C.

4.1 - Considerações Finais

A combinação dos métodos AHP e análise multicritério em ambiente SIG permitiu a identificação de cinco áreas ótimas e disponíveis para a localização do aterro sanitário na comuna sede do município de Viana em função da cartografia de base utilizada.

A utilização da ferramenta *modelbuilder* do software *ArcGIS 10.1* constituiu uma mais-valia no processo da análise espacial, uma vez que permitiu modelar as informações geográficas com base em pesos atribuídos, de uma forma simples e intuitiva.

Neste trabalho a capacidade dos SIG associado às técnicas multicritério foi demonstrada amplamente, como uma ferramenta importante no apoio a tomada de decisão, relativamente ao problema de localização, a partir da modelação dos dados espaciais e análise espaciais.

O trabalho agora desenvolvido será importante na medida em que permitirá responder a pelo menos uma parte de um dos graves problemas prementes do Município de Viana (e também da Província de Luanda), que se prende com a deposição final dos RSU produzidos.

Na vertente do planeamento urbano a localização de áreas ótimas para a deposição dos resíduos sólidos urbanos é muito importante, não só pela questão ambiental mas também por se tratar de uma localização que pode ter implicação na valorização ou desvalorização dos terrenos, e naturalmente no planeamento da expansão urbana.

4.2 – Perspectivas futuras

Relativamente a futuras ações relacionadas com a identificação de áreas ótimas para a localização de aterros sanitários em Luanda e/ou nas outras regiões do país, deverão ser considerados alguns aspetos:

- ✓ Utilização dos dados disponíveis em formatos adequados e na escala necessária para o seu uso (e se possível uniforme); isto permitirá melhorar a qualidade da informação no momento da análise espacial, evitando inconsistências na agregação de informação extraída de cartas a diferentes escalas (ex.: carta topográfica 1/25000 e uma carta geológica 1/1000000; estas foram, no entanto, as mais detalhadas que se obtiveram para a área de estudo);
- ✓ Obter mais informação, a fim de melhorar a qualidade na análise de dados, relacionada com o clima, as águas subterrâneas, a estrutura geológica (falhas e fraturas) e densidade demográfica do local ou região em estudo;

- ✓ Utilização da carta de uso do solo (com os terrenos delimitados segundo algumas restrições, que impossibilitam determinados usos do solo e reservas fundiárias municipais); estes elementos não foram utilizados pois não estavam disponíveis no momento da realização do trabalho, o que levou apenas à utilização da carta de uso e ocupação do solo extraída na carta topográfica 1/25000 e atualizada com base nas imagens de satélite mais recentes;
- ✓ Utilização dos dados do recenseamento geral de 2014, elemento que não estava disponível no momento da realização do trabalho; o censo anterior foi realizado no ano de 1974 e as outras informações obtidas não apresentam a mesma fiabilidade de um recenseamento geral;
- ✓ Idealmente, os estudos deste tipo, quando situados numa esfera mais técnica e menos académica, devem ser acompanhados de estudos no âmbito da otimização da recolha, seleção, reciclagem e posterior deposição dos resíduos;
- ✓ O processo da escolha do melhor local deverá focalizar-se não só a análise baseada na classificação das alternativas, mas também na análise de sensibilidade do local.

5. Referências bibliográficas

- A. G. De Araújo, O. V. Perevalov, & Jukov, R. A. (Cartographer). (1988). Carta Geológica de Angola Escala 1:1000000.
- Afzali, A. (2011). Site selection for municipal landfill city by isfahan. Use of fuzzy logic and AHP. *Environmental Health*, 3, 273-284.
- Al-Jarrah, O., & Abu-Qdais, H. (2006). Municipal solid waste landfill siting using intelligent system. *Waste Management*, 26, 299-306.
- Babalola, A., & Busu, I. (2011). Selection of landfill sites for solid waste Treatment in Damature Town - Using GIS Techniques. *Environmental Protection*, 2(1), 2-10.
- Belton, V., & Gear, T. (1983). On a short-coming of Saaty's method of analytic hierarchies. *Omega*, 11(3), 228-230. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0305-0483\(83\)90047-6](http://dx.doi.org/10.1016/0305-0483(83)90047-6)
- Blight, G. E. (1996). Standards for landfills in developing countries. *Waste Management & Research*, 14(4), 399-408.
- Brito, G. L. M. (2007). *Estimativa da taxa de recarga da bacia sedimentar do Rio do Peixe (PB) pelo método do balanço hídrico*. (Tese de Mestrado), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB.
- Burke, R., Napoleon, E., Ormsby, T., Groess, C., & Feaster, L. (2001). *Getting to Know ArcGIS Desktop: The Basics of ArcView*. ESRI California.
- Cabral, A. V. (2012). *Análise multicritério em Sistemas de Informação Geográfica para localização de aterros sanitários. O caso da região sul da Ilha de Santiago, Cabo Verde*. (Mestrado), Universidade Nova de Lisboa.
- Chang, N. B., Parvathinathan, G., & Breeden, J. B. (2008). Combining GIS with fuzzy multicriterio decision - making for landfill siting in a fast - growing urban region. *Environmental Management*, 87, 139-153.
- Charnpratheep, K., Zhou, Q., & Garner, B. (1997). Preliminary landfill site screening using fuzzy geographical information systems. *Waste Management and Research*, 15, 197-215.
- Coppock, & Rhind. (1991). The history of GIS. *Longman*, 21 - 43.
- Frantzis, I. (1993). Methodology for Municipal landfill sites selection. *Waste Management & Research*, 11(5), 441-451. doi: 10.1177/0734242x9301100507
- Gemitzi, A., Tsihrintzis, V. A., Voudrias, E., Petalas, C., & Stravodimos, G. (2007). Combining geographic information system, multicriteria evaluation techniques and fuzzy logic in siting MSW landfills. *Environmental Geology*, 51(5), 797-811. doi: 10.1007/s00254-006-0359-1
- Gomes, L., Araya, M. C. G., & Carignano, C. (2004). Tomada de Decisão em Cenários Complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão. *Pioneira Thompson Learning, São Paulo.[Links]*.
- INE. (2012). População Angolana de 1985 - 2013. Luanda: Instituto Nacional de Estatística de Angola.
- Javaheri, H., Nasrabadi, T., Jafarian, M. H., Rowshan, G. R., & Khoshnam, H. (2006). Site selection of Municipal solid waste landfills using Analytical Hierarchy Process method in a geographical information technology environment in Giroft. *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.*, 3(3), 177-184.
- Kara, C., & Doratli, N. (2012). Application of GIS/AHP in siting sanitary landfill: a case study in Northern Cyprus. *Waste Management & Research*, 30(9), 966-980.
- Kontos, T. D., & Komilis, D. P. (2005). Siting sis methodology landfills with a spatial multiple criterio anal. *Waste Management*, 25, 818-832.

- Levy, J. D., & Cabaças, A. J. (2006). Resíduo sólido urbanos-princípio e processos *Associação das Empresas Portuguesa para o setor do Ambiente*.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2005). *Geographic Information Systems and Science*: Wiley.
- Lootsma, F. A., & Schuijt, H. (1997). The Multiplicative AHP, SMART and ELECTRE in a Common Context. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 6(4), 185-196. doi: 10.1002/(SICI)1099-1360(199707)6:4<185::AID-MCDA136>3.0.CO;2-E
- Lupatini, G. (2012). *Desevolvimento de um sistema de apoio à decisão em escolha de áreas para aterros sanitários*. (Mestrado), Federal de Santa Catarina.
- Martin, D. (1996). *Geographic information systems: socioeconomic applications*. Paper presented at the Cartografia Temática.
- McKnight, T. L., & Hess, D. (2000). Climate Zones and Types: The Köppen System *Physical Geography: A Landscape Appreciation*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- Miguel, G. L., Rebollo, L. F., & Martin-Loeches, M. (2002). Caracterização hidrogeológica preliminar de Luanda e Arredores (Angola). *Revista de estudo geológicos*.
- Miranda, J. I. (2005). *Fundamentos de sistemas de Informações Geográficas*. (85-7383-293-2). Embrapa.
- Mutlutuerk, M., & Karagüzel, R. (2007). The landfill area quality (LAQ) classification approach and its application in Isparta, Turkey. *Environmental & Engineering Geoscience*, 13(3), 229-240.
- Nzatuzola, J. B. L. (2010). Crescimento da população em Angola: Um olhar sobre a situação e dinâmica populacional da cidade de Luanda. *Revista de estudo Demográfico* n° 49.
- Parreiras, R. O. (2006). *Algoritmos evolucionários e técnicas de tomada de decisão em análise multicritério*. (Doutoramento), Universidade Federal de Minas Gerais - Escola de Engenharia.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11(5), 1633-1644. doi: 10.5194/hess-11-1633-2007
- Ramjeawon, T., & Beerachee, B. (2008). Site selection of sanitary landfills on the small island of Mauritius using the analytical hierarchy process multi-criteria method. *Waste Management & Research*, 26(5), 439-447.
- REGA. (2012). Relatório Geral do Ambiente em Angola. Luanda: Ministério do Ambiente - Governo de Angola.
- Rushbrook, P., & Pugh, M. (1999). *Solid waste landfills in middle- and lower-income countries: a technical guide to planning, design and operation*. Washington DC, USA: World Bank Technical Paper N°426.
- Saaty, T. L. (1977). A Scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal Math Psycho*, 15, 234-281.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority setting, resource allocation*. Mc Graw-Hill.
- Saaty, T. L. (1996). Decision Making In Environments. The Analytic Network Process (ANP) for Decision Making with Dependence and Feedback. *Pittsburgh*.
- Saaty, T. L. (2000). *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*. RWS Publications.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Journal services sciences*, 1(1), 83-98.

- Samizava, T. M., Kaida, R. H., Imai, N. N., & Nunes, J. O. R. (2011). SIG aplicado à escolha de áreas potenciais para instalação de aterros sanitários no município de Presidente Prudente–SP. *Revista Brasileira de Cartografia*, 1(60).
- Schmidt, A. M. A. (1995). *Processo de apoio à tomada de decisão abordagens: AHP e Macbeth*. (Tese de Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.
- Schuurman, N. (2004). *GIS: a short introduction*.
- Sener, B., Süzen, M. L., & Doyuran, V. (2006). Landfill site selection by using geographical information systems. *Environmental Geology*, 49, 376-388.
- Şener, Ş., Sener, E., & Karagüzel, R. (2011). Solid waste disposal site selection with GIS and AHP methodology: a case study in Senirkent–Uluborlu (Isparta) Basin, Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 173(1-4), 533-554.
- Şener, Ş., Şener, E., Nas, B., & Karagüzel, R. (2010). Combining AHP with GIS for landfill site selection: a case study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey). *Waste Management*, 30(11), 2037-2046.
- Shekhar, S., & Xiong, H. (2008). *Encyclopedia of GIS*: Springer.
- Siddiqui, M. Z., Everetl, J. W., & Vieux, B. E. (1996). Landfill siting using geographic information systems: a demonstration. *Environmental Engineering*, 122, 515-523.
- Sumathi, V. R., Natesan, U., & Sarkar, C. (2008). GlandfillIS based approach for optimized siting of municipal solid wasted *Waste Management*, 28(11), 2146-2160.
- Thoso, M. (2008). *The Construction of a Geographic Information Systems Model for Landfill Site Selection*. Department of Geography, University of the Free State, Bloemfontein.
- Vega y de la Fuente, A. (2003). *Aterros Sanitarios (Texto policopiado - não publicado)*: Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Wan Hussin, W., Kabir, S., Mohad Din, M., & Wan Jaafar, W. (2010). Modeling Landfill Suitability based on multi-criteria decision marking method. *Interdisciplinary Themes Journal*, 2(1), 20-30.
- Wang, G., Qin, L., Li, G., & Chen, L. (2009). Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: A case study in Beijing, China. *Journal of Environmental Management*, 90(8), 2414-2421. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.12.008>
- Weber, E., & Hasenack, H. (2000). Avaliação de áreas para instalação de aterro sanitário através de análises em SIG com classificação contínua dos dados. *Porto Alegre: UFRS*.
- Westlake, K. (1997). Sustainable Landfill—Possibility or Pipe-Dream? *Waste Management & Research*, 15(5), 453-461. doi: 10.1177/0734242x9701500502
- Yahaya, S., Ilori, C., Whanda, S., & Edicha, J. (2010). Landfill site selection for municipal solid waste management using geographic information system and multicriteria evaluation. *American Journal of Scientific Research*, 10, 34-49.

Legislação

Angola

Decreto - Regulamentar nº 49/11, de 31 de Maio: Zona Económica Espacial (ZEE).

Decreto-Regulamentar nº 07/07, de 13 de Abril: Gabinete Técnico Provincial de Luanda.

Decreto-lei nº 29/11, de 1 de Setembro: Alteração da divisão administrativa das Províncias de Luanda e Bengo.

Decreto-lei nº 5/98, de 19 de Junho – Lei de Bases do Ambiente.

Decreto-Regulamentar nº 6/02, de 21 de Junho – Lei das águas.

Portugal / U.E.

Decreto-lei nº183/2009, de 10 de Agosto. Diário da Republica, Portugal nº153-I Serie.

Diretiva 99/31/CE-Conselho Europeu de 26 de Abril- Deposição de Resíduos em aterros.

Diretiva 2008/98/CE da União Europeia, de 19 de Novembro de 2008 – Quadro dos Resíduos.

Anexos

Tabela A1: Matriz de comparação do subcritério B1.

B1	A	B	C	D	E
A	1	0,5	0,33	2	1
B	2	1	0,5	2	2
C	3	2	1	3	3
D	0,5	0,5	0,33	1	1
E	1	0,5	0,33	1	1

Tabela A2: Matriz normalizada do subcritério B1.

B1	A	B	C	D	E	Prioridade
A	0,13	0,11	0,13	0,22	0,13	0,14
B	0,27	0,22	0,20	0,22	0,25	0,23
C	0,40	0,44	0,40	0,33	0,38	0,39
D	0,07	0,11	0,13	0,11	0,13	0,11
E	0,13	0,11	0,13	0,11	0,13	0,12
Total	1	1	1	1	1	1

IC = 0,02 e RC = 0,01

Tabela A3: Matriz de comparação do subcritério B2.

B2	A	B	C	D	E
A	1	2	0,33	2	2
B	0,5	1	0,33	2	2
C	3	3	1	3	3
D	0,5	0,5	0,33	1	1
E	0,5	0,5	0,33	1	1

Tabela A4: Matriz normalizada do subcritério B2.

B2	A	B	C	D	E	Prioridade
A	0,18	0,29	0,14	0,22	0,22	0,21
B	0,09	0,14	0,14	0,22	0,22	0,16
C	0,55	0,43	0,43	0,33	0,33	0,41
D	0,09	0,07	0,14	0,11	0,11	0,11
E	0,09	0,07	0,14	0,11	0,11	0,11
Total	1	1	1	1	1	1

IC = 0,03 e RC = 0,03

Tabela A5: Matriz de comparação do subcritério B3.

B3	A	B	C	D	E
A	1	0,5	0,5	1	0,5
B	2	1	0,5	1	0,5
C	2	2	1	2	2
D	1	1	0,5	1	0,5
E	2	2	0,5	2	1

Tabela A6: Matriz normalizada do subcritério B3.

B3	A	B	C	D	E	Prioridade
A	0,13	0,08	0,17	0,14	0,11	0,12
B	0,25	0,15	0,17	0,14	0,11	0,16
C	0,25	0,31	0,33	0,29	0,44	0,32
D	0,13	0,15	0,17	0,14	0,11	0,14
E	0,25	0,31	0,17	0,29	0,22	0,25
Total	1	1	1	1	1	1

IC = 0,03 e RC = 0,03

Tabela A7: Matriz de comparação do subcritério C1.

C1	A	B	C	D	E
A	1	0,5	0,33	1	1
B	2	1	0,5	2	2
C	3	2	1	3	3
D	1	0,5	0,33	1	0,5
E	1	0,5	0,33	2	1

Tabela A8: Matriz normalizada do subcritério C1.

C1	A	B	C	D	E	Prioridade
A	0,13	0,11	0,13	0,11	0,13	0,12
B	0,25	0,22	0,20	0,22	0,27	0,23
C	0,38	0,44	0,40	0,33	0,40	0,39
D	0,13	0,11	0,13	0,11	0,07	0,11
E	0,13	0,11	0,13	0,22	0,13	0,14
Total	1	1	1	1	1	1

IC = 0,02 e RC = 0,01

Tabela A9: Matriz de comparação do subcritério C2.

C2	A	B	C	D	E
A	1	1	0,5	1	0,5
B	1	1	0,5	1	0,5
C	2	2	1	2	2
D	1	1	0,5	1	0,5
E	2	2	0,5	2	1

Tabela A10: Matriz normalizada do subcritério C2.

C2	A	B	C	D	E	Prioridade
A	0,14	0,14	0,17	0,14	0,11	0,14
B	0,14	0,14	0,17	0,14	0,11	0,14
C	0,29	0,29	0,33	0,27	0,44	0,33
D	0,14	0,14	0,17	0,14	0,11	0,14
E	0,29	0,29	0,17	0,27	0,22	0,25
Total	1	1	1	1	1	1

IC = 0,015 e RC = 0,01

Tabela A11: Matriz de comparação do subcritério C3.

C3	A	B	C	D	E
A	1	1	0,33	1	0,5
B	1	1	0,5	1	0,5
C	3	2	1	2	2
D	1	1	0,5	1	0,5
E	2	2	0,5	2	1

Tabela A12: Matriz normalizada do subcritério C3.

C3	A	B	C	D	E	Prioridade
A	0,13	0,14	0,11	0,14	0,11	0,13
B	0,13	0,14	0,18	0,14	0,11	0,14
C	0,38	0,29	0,35	0,29	0,44	0,35
D	0,13	0,14	0,18	0,14	0,11	0,14
E	0,25	0,29	0,18	0,29	0,22	0,25
Total	1	1	1	1	1	1

IC = 0,01 e RC = 0,01

Tabela A13: Matriz de comparação do subcritério R1.

R1	A	B	C	D	E
A	1	1	2	1	2
B	1	1	2	1	0,5
C	0,5	0,5	1	0,5	1
D	1	1	2	1	2
E	0,5	2	1	0,5	1

Tabela A14: Matriz normalizada do subcritério R1.

R1	A	B	C	D	E	Prioridade
A	0,25	0,18	0,25	0,25	0,31	0,25
B	0,25	0,18	0,25	0,25	0,08	0,20
C	0,13	0,09	0,13	0,13	0,15	0,12
D	0,25	0,18	0,25	0,25	0,31	0,25
E	0,13	0,36	0,13	0,13	0,15	0,18
Total	1	1	1	1	1	1

IC = 0,06 e RC = 0,06

Tabela37 A15: Matriz de comparação do subcritério R2.

R2	A	B	C	D	E
A	1	1	1	1	1
B	1	1	1	0,5	1
C	1	1	1	0,5	1
D	1	2	2	1	1
E	1	1	1	1	1

Tabela A16: Matriz normalizada do subcritério R2.

R2	A	B	C	D	E	Prioridade
A	0,20	0,17	0,17	0,25	0,20	0,12
B	0,20	0,17	0,17	0,13	0,20	0,17
C	0,20	0,17	0,17	0,13	0,20	0,17
D	0,20	0,33	0,33	0,25	0,20	0,26
E	0,20	0,17	0,17	0,25	0,20	0,20
Total	1	1	1	1	1	1

IC = 0,02 e RC = 0,01

Tabela A17: Matriz de comparação do subcritério R3.

R3	A	B	C	D	E
A	1	2	2	2	0,33
B	0,5	1	1	1	0,5
C	0,5	1	1	1	0,33
D	0,5	1	1	1	0,33
E	3	2	3	3	1

Tabela A18: Matriz normalizada do subcritério R3.

R3	A	B	C	D	E	Prioridade
A	0,18	0,28	0,25	0,25	0,13	0,22
B	0,09	0,14	0,13	0,13	0,20	0,14
C	0,09	0,14	0,13	0,13	0,13	0,12
D	0,09	0,14	0,13	0,13	0,13	0,12
E	0,55	0,29	0,38	0,38	0,40	0,40
Total	1	1	1	1	1	1

IC = 0,02 e RC = 0,02